

Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
der Technischen Universität München

Fabrikplanung für die standortübergreifende
Kostensenkung bei marktnaher Produktion

Wolfgang Wagner

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. H. Rühmann

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. F. Zäh
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

Die Dissertation wurde am 08.09.2005 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 17.01.2006 angenommen.

Wolfgang Wagner

**Fabrikplanung für die standortübergreifende
Kostensenkung bei marktnaher Produktion**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 195

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

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

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2006

ISBN 3-8316-0586-6

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

Geleitwort der Herausgeber

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

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

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

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

Vorwort

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

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh und Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, den Leitern dieses Institutes. Sie haben mir die Erstellung der Arbeit ermöglicht. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh bedanke ich mich insbesondere für die wohlwollende Förderung und Unterstützung bei der Umsetzung der Arbeit.

Für die Übernahme des Koreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann, Leiter des Lehrstuhls für Produktentwicklung an der Technischen Universität München.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. habil. Heinzpeter Rühmann, Extraordinarius am Lehrstuhl für Ergonomie an der Technischen Universität München, der den Vorsitz der Prüfungskommission übernommen hat.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern des Instituts, bei allen ehemaligen Kollegen sowie bei allen Studenten, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Besonders hervorheben möchte ich hierbei Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. Rainer Schack und Herrn Dr.-Ing. Volker Weber, ihnen sei für die sehr wertvollen konstruktiven Hinweise gedankt. Außerdem bedanke ich mich bei meinen Freunden und bei all denjenigen, die darüber hinaus meine Motivation zur Realisierung der Arbeit unterstützt haben.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meiner Familie und meinen Eltern, die mir meine Ausbildung ermöglicht haben.

München, im Februar 2006

Wolfgang Wagner

*„Man kann sich gesun**schrumpfen** – oder den Angriff wagen.“*

Porsche-Chef Wendelin Wiedeking, 2006

Danksagung

Wesentliche Teile der vorliegenden Arbeit entstanden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 582 „Marktnahe Produktion individualisierter Produkte“ an der TU München, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG, Bonn.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	XI
Abkürzungen, Formelzeichen und Einheiten.....	XIX
1 Einleitung.....	1
1.1 Strategische Anforderungen an produzierende Unternehmen	1
1.1.1 Allgemeines.....	1
1.1.2 Umgang mit divergierenden Kundenwünschen	2
1.1.3 Zielgerichtete Angebotserweiterung	5
1.1.4 Produktion in Absatzmarktnähe	7
1.1.5 Umgang mit steigender Innovationsgeschwindigkeit	8
1.2 Fazit.....	9
2 Begriffsdefinitionen und Abgrenzung des Betrachtungsraums.....	13
2.1 Begriffsdefinitionen	13
2.1.1 Betrachtete Produkte	13
2.1.2 Grad der Kundenorientierung.....	14
2.1.3 Produktdiversifikation	17
2.1.4 Produktindividualisierung	18
2.2 Abgrenzung des Betrachtungsraums.....	20
2.2.1 Produktionsunternehmen.....	20
2.2.2 Produktarten für die Individualisierung	21
2.2.3 Herzustellende Produktkomponenten.....	22
2.2.4 Abgrenzung zu anderen Disziplinen	23

3	Problemstellung und Zielsetzung	25
3.1	Problemstellung der Arbeit.....	25
3.2	Zielsetzung der Arbeit	27
4	Stand der Forschung und Technik	29
4.1	Individualisierung	29
4.1.1	Mass Customization	29
4.1.2	Herstellung kundenindividueller technischer Produkte	30
4.1.3	Individualisierung von Luxusgütern	31
4.2	Gestaltung der Produktion	32
4.2.1	Integration von Produktentwicklung und Produktionsplanung	32
4.2.2	Betriebsmittel für kleine Losgrößen.....	33
4.2.3	Produktionstechnologien und -ressourcen für kleine Losgrößen.....	35
4.3	Fertigungskosten.....	42
4.3.1	Allgemeines.....	42
4.3.2	Kosten- und Leistungsrechnung.....	43
4.3.3	Kostenentwicklung neuer Technologien.....	45
4.3.4	Lerneffekte	46
4.3.5	Erfahrungseffekte.....	46
4.3.6	Mathematische Beschreibung von Lern- und Erfahrungseffekten ..	47
4.3.7	Einführungsstrategien für Innovation	50
4.3.8	Standardisierung.....	52
4.4	Produktionsstrukturen.....	53

4.4.1	Vorgehen bei der Strukturierung und Planung von Fabriken	53
4.4.2	Modularisierung als Grundgedanke bei der Produktionsstrukturierung	54
4.4.3	Baukastenstrategien.....	56
4.4.4	Fertigungssegmentierung	57
4.4.5	Das Fraktale Unternehmen.....	59
4.4.6	Die Virtuelle Fabrik.....	60
4.4.7	Netzwerke für Produktionsdienstleistungen.....	60
4.5	Dezentralisierung	61
4.5.1	Produktionssysteme.....	61
4.5.2	Completely Knocked Down (CKD).....	62
4.5.3	Einzelfertiger	63
4.5.4	Wenige verteilte Fabriken für die variantenreiche Serienproduktion.....	64
4.6	Wandlungsfähige Produktion.....	64
4.6.1	Begriffe und Abgrenzungen	64
4.6.2	Flexibilität.....	65
4.6.3	Wandlungsfähigkeit.....	66
4.6.4	Gestaltung wandlungsfähiger Produktion	67
4.6.5	Mobile Produktion.....	70
4.7	Prozesse und Werkzeuge der Fabrikplanung.....	71
4.7.1	Allgemeines.....	71

4.7.2	Weiter- und Wiederverwendung von Information bei der Fabrikplanung.....	71
4.7.3	Prozesse und Werkzeuge für eine digital unterstützte Planung	74
4.7.4	Weiter- und Wiederverwendung von Daten	77
4.7.5	Partizipative interaktive Fabrikplanung	79
4.8	Zusammenfassung und Gesamtfazit	79
4.8.1	Zusammenfassung	79
4.8.2	Gesamtfazit.....	82
5	Handlungsbedarf und Vorgehensweise	85
5.1	Handlungsbedarf.....	85
5.1.1	Produktionsstruktur	87
5.1.2	Kostensenkungseffekte	88
5.1.3	Integrierte Planungsprozesse.....	89
5.2	Vorgehensweise	90
6	Marktnahe Produktion individualisierter Produkte	95
6.1	Allgemeines	95
6.2	Konzept	96
6.2.1	Marktnahe Produktion als Wertschöpfungsmodell.....	96
6.2.2	Kernkompetenzen marktnaher Fabriken	100
6.3	Fabriken für die marktnahe Produktion.....	103
6.3.1	Modulare Fabrikstrukturen für die marktnahe Produktion	103
6.3.2	Aufbau eines Moduls	107

6.3.3	Umfang vorkonfigurierter Module für die Fabrikstrukturierung ...	108
6.3.4	Ausgestaltung von Modulen.....	110
6.4	Effiziente Planungsprozesse für marktnahe Fabriken.....	115
6.4.1	Vernetzte Planung mit vorkonfigurierten integrierten Planungsmodulen	115
6.4.2	Integration.....	117
6.4.3	Modularisierung	119
6.5	Adaption von Methoden der Virtuellen Produktion	120
6.5.1	Allgemeines.....	120
6.5.2	Vernetzung von Planungssystemen.....	121
6.5.3	Interaktive Planung.....	124
6.5.4	Standortübergreifende Weitergabe von Optimierungslösungen in der Produktion	126
6.5.5	Zusammenfassung des Konzepts.....	131
7	Wirtschaftlichkeitskorridor.....	133
7.1	Vorgehen und Detaillierungsstufen bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	133
7.2	Betrachtung auf Wertschöpfungssystem-Ebene	137
7.3	Produktionsbezogene Betrachtung.....	138
7.3.1	Marktnahe Fabriken – wenige zentrale Werke.....	138
7.3.1.1	Erschließung geschlossener Märkte.....	138
7.3.1.2	Strategische Markterschließung.....	138
7.3.1.3	Transport- und Logistikkosten.....	139

7.3.1.4	Entkoppelung von Wechselkursschwankungen	141
7.3.2	Heterogene marktnahe Produktionsstätten – Planung von vergleichbaren Fabrikvarianten.....	141
7.3.2.1	Aufbau des Vergleichs.....	141
7.3.2.2	Kernkompetenzen marktnaher Fabriken	142
7.3.2.3	Fabriken für die marktnahe Produktion.....	142
7.3.2.4	Effiziente Planungsprozesse und Virtuelle Produktion.....	145
7.4	Wirtschaftliche Eignung für einen Anwendungsfall	145
7.5	Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	148
8	Exemplarische Anwendung in der Industrie	151
8.1	Allgemeines	151
8.2	Ausgangssituation.....	151
8.3	Zielsetzung.....	152
8.4	Vorgehensweise	152
8.4.1	Gliederung der Projektphasen	152
8.4.2	Analyse von Prozessanforderungen	153
8.4.3	Festlegung von Referenzprozessen	155
8.5	Ergebnisse und Erkenntnisse	155
9	Zusammenfassung und Ausblick	157
9.1	Zusammenfassung	157
9.2	Ausblick.....	159

10	Literatur	161
11	Abbildungsverzeichnis	187



Abkürzungen, Formelzeichen und Einheiten

Abkürzungen

BDE	Betriebsdatenerfassung
BM	Betriebsmittel
(e)BOM	(Electronic) Bill of Material
(e)BOP	(Electronic) Bill of Processes
CAD	Computer Aided Design
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CKD	Completely Knocked Down
Datei	Datenkartei
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
ERP	Enterprise Resource Planning
IT	Informationstechnik
JIT	Just in Time
JIS	Just in Sequence
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MES	Manufacturing Execution Systems
MPM	Manufacturing Process Management
Outsourcing	Outside Resource Using
PDM	Produktdatenmanagement
SE	Simultaneous Engineering
SFB	Sonderforschungsbereich (der Deutschen Forschungs- gemeinschaft)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

Formelzeichen

K_{St}	Kosten pro Stück bei <i>konstanten</i> variablen Kosten
N	Betrachtete Gesamtstückzahl bei <i>konstanten</i> variablen Kosten
K_{Ges}	Gesamtkosten für die betrachtete Gesamtstückzahl
K_{var}	Gesamte variable Kosten für die betrachtete Gesamtstückzahl N
K_{fix}	Fixkosten
K_{var1}	Variable Kosten pro Stück
$k(x)$	Kosten pro Stück bei <i>veränderlichen</i> variablen Kosten
a	Aufwand für die erste Einheit
x	Kumulierte Ausbringungsmenge bei <i>veränderlichen</i> variablen Kosten
b	Wachstumsfaktor, dessen Höhe von der Lernrate bei ansteigender kumulierter Ausbringungsmenge abhängt.
\log	Logarithmus zur Basis 10

Einheiten

%	Prozent
€	Euro

1 Einleitung

1.1 Strategische Anforderungen an produzierende Unternehmen

1.1.1 Allgemeines

Globaler Wettbewerb, Innovationsoffensive, Produktfeuerwerk – Begriffe wie diese kennzeichnen die aktuelle Situation von produzierenden Unternehmen insbesondere in technischen Branchen. In der weltweiten Wirtschaft herrscht ein steigender Konkurrenz-, Kosten- und Zeitdruck. Märkte mit zunehmender Sättigungstendenz lassen eine schwächer werdende Bindung der Abnehmer an die Hersteller erkennen. In einem derart komplexen und dynamischen Umfeld müssen Unternehmen Produkte anbieten, die den Kundenanforderungen bestmöglich gerecht werden. Als eine Folge hiervon verändern sich Formen der industriellen Wertschöpfung tendenziell von einer kundenanonymen zu einer eher kundenorientierten Produktion (Abbildung 1). Aufgrund vielfältiger und kurzfristig veränderlicher externer und interner Einflüsse wird es für Produktionsunternehmen dabei schwieriger, die Marktanforderungen auf lange Sicht sicher zu prognostizieren.

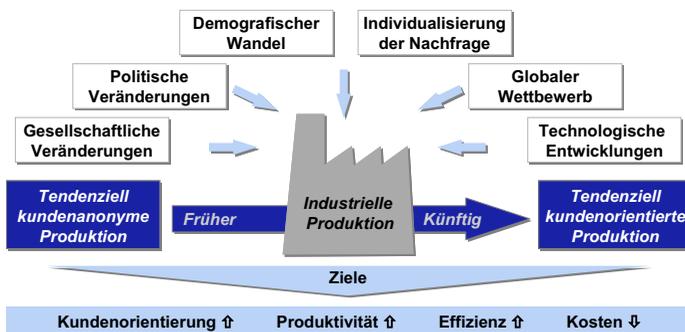


Abbildung 1: Einflüsse auf produzierende Unternehmen

Geeignete Vorgehensweisen für eine erfolgreiche Marktbearbeitung erstrecken sich von der intensiven Kundeninteraktion, auf deren Basis Marktbedürfnisse ermittelt werden [REICHWALD & PILLER 2002], über die Produktentwicklung, welche Produkte so konzipiert, dass die vom Kunden geforderten Güter aufwandsarm darstellbar sind [LINDEMANN ET AL. 2003], bis zur Realisierung der Erzeugnisse in der Produktion. Aus produktionsbezogener Sicht sind geeignete Planungs-

und Produktionssysteme notwendig, die eine Herstellung der gewünschten Produkte bei einer gleichzeitigen Beherrschung von Komplexität, Kosten und Lieferzeit erlauben [COMSTOCK & OSSBAHR 2000; REINHART ET AL. 2003 A; SCHUH ET AL. 2003 C; WESTKÄMPER & VON BRIEL 2001; WIENDAHL ET AL. 2005; ZÄH & WAGNER 2002 A]. Zur Umsetzung einer verstärkten Kundenorientierung, bei welcher die „*Kunden als ‚Prosumenten‘ die Leistungsmerkmale der Produkte mitbestimmen*“ [MILBERG 2000] (*Prosument: Produzent und Konsument*), entwickeln Unternehmen daher Produktionstechnologien und Prinzipien der Produktionsorganisation weiter. Dies führt teilweise zu erheblichen Änderungen in den Produktionsstrukturen. Zielsetzung der Unternehmen ist es dabei, mit höchstmöglicher Produktivität und Effizienz genau die Produkte herzustellen, die von den Absatzmärkten gefordert werden. Es werden Maßnahmen erarbeitet, um Kosten für Umlaufbestände und schwer absetzbare Fertigprodukte soweit wie möglich zu reduzieren. Aus produktionsbezogener Sicht lassen sich schwerpunktmäßig die folgenden strategischen Anforderungen identifizieren [EVERSHEIM ET AL. 2002; SCHUH ET AL. 2002; WESTKÄMPER 2000; WIENDAHL 2002 B]:

- Umgang mit divergierenden Kundenwünschen
- Zielgerichtete Angebotserweiterung
- Produktion in Absatzmarktnähe
- Umgang mit steigender Innovationsgeschwindigkeit

In den folgenden Abschnitten werden diese Anforderungen detailliert betrachtet.

1.1.2 Umgang mit divergierenden Kundenwünschen

Während auf so genannten Verkäufermärkten die Nachfrage größer als das Angebot ist und damit „*die Produktion in eine Schlüsselposition, bei der im Interesse eines möglichst großen Ausstoßes alle sonstigen Bereiche des Unternehmens ihre Unterstützung beizusteuern haben*“, versetzt ist, herrscht auf Käufermärkten ein Überangebot. „*Hier steht der potenzielle Kunde im Mittelpunkt des Geschehens*“ [AGGTELEKY 1981]. Auf den Märkten ist eine „*Fragmentierung klassischer Massenmärkte im Sinne einer Heterogenisierung und Individualisierung der Nachfrage*“ [REICHWALD & PILLER 2002] zu beobachten. Um in diesem Umfeld erfolgreich zu sein, müssen Unternehmen die Anforderungen der Kunden möglichst genau erfüllen [ZÄH & RUDOLF 2003] und in der Lage sein, entsprechende Produkte schnell bereitzustellen [SPATH ET AL. 2002 B; NYHUIS & MÜLLER-SEEGERS

2003]. Hersteller reagieren darauf mit einer starken Produktdiversifikation (Abbildung 2), insbesondere bei mechatronischen Produkten höherer Komplexität, welche in der vorliegenden Arbeit fokussiert werden. Zum einen werden dabei starre Grenzen zwischen Produktlinien aufgehoben. So genannte „Cross-over“-Produkte sollen die Vorteile mehrerer Produkte vereinen und so neue Käuferschichten erschließen. Diese Integration von Funktionalitäten erstreckt sich vom Mobiltelefon mit integrierter Kamera bis hin zu geländegängigen Automobilen der Luxusklasse. Zum anderen ist innerhalb dieser Vielzahl an Produktlinien eine Zunahme der verfügbaren Varianten zu beobachten. Diese basiert in erster Linie darauf, dass die Kunden, ausgehend von einem Grundprodukt, aus einem definierten Angebot an verfügbaren Ausstattungsoptionen ein Endprodukt zusammenstellen können, welches ihre Vorstellungen am ehesten trifft. Mit Hilfe einer derartig angewachsenen Anzahl an Auswahlmöglichkeiten bei den Produkten beabsichtigen Produktionsunternehmen, spezifische Kundenwünsche schnell durch die Lieferung des geeigneten Produkts zu befriedigen.



Abbildung 2: Zunehmende Produktdiversifikation
(BMW Group in [WAGNER ET AL. 2003])

Durch die Kombination verschiedener Freiheitsgrade entsteht schnell eine große Bandbreite an möglichen Endprodukten. Beispielsweise beim hochwertigen Au-

tomobil, einem der komplexesten technischen Gebrauchsgüter, können Kunden theoretisch aus bis zu 10^{17} angebotenen Möglichkeiten (vgl. [WAGNER ET AL. 2003]) ihr persönliches Wunschfahrzeug auswählen bzw. es selbst konfigurieren. Die Ausweitung des Angebots bei kürzer werdenden Innovationszyklen, verbunden mit einer rasant anwachsenden Variantenzahl von Produkten und Produktkomponenten in der Serienproduktion, führt zu einer steigenden Steuerungskomplexität in den Unternehmen und wirkt sich erheblich auf die Produktionsabläufe und auf die Fabrikplanung aus. Die Kostenvorteile von starren Automatisierungslösungen oder von hoher Arbeitsteiligkeit treten in den Hintergrund. Diese zielen häufig darauf ab, Investitionen für Produktionsressourcen auf eine hohe Anzahl an gleichen Produkten umzulegen. Seitens der Absatzmärkte kann jedoch nicht mehr von einer Nachfrage ausgegangen werden, die über lange Zeit konstant ist. Produktionstechnologien, die vergleichsweise hohe Investitionen erfordern und auf bauteilspezifischen Werkzeugen beruhen, sind für die Serienfertigung mit immer kleiner werdenden Stückzahlen zunehmend ungeeignet. Als Beispiele hierfür können klassische Verfahren der Blechumformung wie Tiefziehen oder Streckziehen sowie Verfahren zur Herstellung von Kunststoffteilen mittels starrer Formen genannt werden. Es werden vermehrt neue Technologien erarbeitet, um die Herstellung von Werkzeugen zu beschleunigen und Werkzeugkosten zu senken [HARNISCH 2003; HOFFMANN 2003; MEIER ET AL. 2004; SCHRAFT & SCHÄFER 2003; SIEGERT ET AL. 2000; WESTKÄMPER ET AL. 2003 B]. Neben den Ansprüchen an die Produktionstechnologien steigt mit zunehmender Produktdiversifikation in der Produktion auch die Komplexität des Variantenmanagements von Bauteilen [LINDEMANN ET AL. 2003; SCHUH ET AL. 2003 C]. Die Verflechtung mit Systemlieferanten führt zu einem erheblichen Steuerungs- und Koordinierungsaufwand beim Materialfluss.

Trotz der am Beispiel des Automobils beschriebenen Angebotsbreite gibt es Kunden, die zu vergleichsweise hohen Preisen ihre Fahrzeuge über die verfügbare Variantenkonfiguration hinaus an ihre persönlichen Bedürfnisse anpassen wollen. Ein sich verstärkender Trend, wie die Fachzeitung „Wirtschaftswoche“ schreibt: Kunden, denen die genannte Variantenvielfalt nicht ausreicht, können *„das gute Stück bei BMW Individual, einer Tochter des Münchner Autohauses, nach eigenen Wünschen modifizieren lassen, ganz gleich ob der Wagen in der Farbe des Lieblingslippenstifts lackiert oder der Innenraum mit Walknappaleder verkleidet werden soll“* [KATZENSTEINER & RAUWALD 2003]. Für die Kunden steht

hier der emotionale Bezug zum Produkt im Vordergrund. Mit den heute etablierten industriellen Produktionsverfahren ist eine derartige Individualisierung, bei welcher der Kunde aktiv seine Wünsche in die Produktgestaltung einbringt, nicht wirtschaftlich umsetzbar. Meist kommen in solchen Fällen handwerkliche Prozesse zum Einsatz. Entsprechend liegt der Produktpreis erheblich über dem eines vergleichbaren Serienprodukts.

1.1.3 Zielgerichtete Angebotserweiterung

Um der zunehmenden Heterogenisierung von Märkten und der Individualisierung der Kundennachfrage gerecht zu werden, muss die Ausweitung des Angebots zielgerichtet erfolgen, was eine genaue Kenntnis der angepeilten Märkte und deren Spezifika voraussetzt. Fehlt eine enge Rückkopplung zu den Kundenanforderungen, so kann sich dies dahingehend auswirken, dass Produkte die Markterwartungen nicht treffen und einen erheblichen wirtschaftlichen Misserfolg verursachen. Die technische Entwicklung mechatronischer Produkte ist aufgrund der vorhandenen Produktkomplexität sowie der Ansprüche hinsichtlich Funktionalität und Sicherheit in der Regel mit hohem Zeit- und Ressourcenaufwand verbunden. So war bei der Firma Porsche schon 1993 die Entwicklung eines viertürigen Fahrzeugs so weit vorangeschritten, dass bereits Fahrzeugmodelle im Maßstab 1:1 gebaut wurden. Mangels Absatzchancen wurde das Fahrzeug jedoch nicht auf dem Markt eingeführt. Die erheblichen Entwicklungskosten für ein Produkt, das nicht zum Verkauf angeboten wurde, wirkten sich sehr negativ auf die damalige wirtschaftliche Situation des Unternehmens aus [PANDER 2004].

Beispiele wie dieses zeigen eindrucksvoll, dass eine erfolgreiche Marktbearbeitung eine ausreichend genaue Kenntnis der Kundenwünsche voraussetzt. Diese wiederum erfordert eine enge Interaktion zwischen Kunde und Anbieter. Um auf weltweiten Märkten erfolgreich agieren zu können, richten produzierende Unternehmen global verteilte Entwicklungsbüros ein, welche die Trends bei der Nachfrageentwicklung direkt in den Absatzmärkten ermitteln sollen. Beispielsweise *„beschäftigt Panasonic in Europa fast 15.000 Mitarbeiter in Tochterunternehmen für Produktion, Vertrieb sowie Forschung und Entwicklung“* [PANASONIC 2004]. Der japanische Automobilhersteller NISSAN entwickelte das Design für ein Mittelklassemodell für den europäischen Markt in Geretsried bei München [NISSAN 2002]. Eine ähnliche Strategie verfolgt Volkswagen mit Modellen, die *„im kalifornischen Volkswagen Designstudio speziell für den US-Markt konzi-*

piert“ [VOLKSWAGEN 2004] werden. Diesen Ansätzen ist gemeinsam, dass es durch die Präsenz in der Nähe wichtiger Absatzmärkte gelingt, Tendenzen in der Nachfrageentwicklung von Kundengruppen zu prognostizieren. Diese verfügen über einen vergleichbaren kulturellen Hintergrund und häufig auch über vergleichbare Lebensumstände und finanzielle Möglichkeiten. Die Erkenntnisse, die aus den prognostizierten Nachfrageentwicklungen stammen, werden für die strategische Positionierung von Produkten für potenzielle Kundengruppen gemittelt. Auf Basis dieser Information werden künftige Produkte unternehmensintern von Entwicklern vorgedacht und in verschiedenen Varianten ausgearbeitet.

Neben dem Einsatz typischer Aktivitäten der Marktforschung und der Umsetzung der daraus gewonnenen Erkenntnisse in ein Produktangebot (siehe auch 2.1.3) werden neue Methoden entwickelt, um den Kunden vermehrt in den Prozess von der Entwicklung bis zur Herstellung von Produkten einzubinden [REICHWALD 2004]. Der Kunde wird zum Co-Designer und Wertschöpfungspartner [REICHWALD & PILLER 2002]. Ein Ansatz, interessierte und entsprechend motivierte Kunden aktiv in die Produktkonzeption einzubinden, ist beispielsweise die Integration so genannter „Lead User“ in den Innovationsprozess [KOENDERS 2004]. „Lead User“ sind Kunden, die, falls auf dem Markt kein geeignetes Angebot verfügbar ist, technische Innovationen selbst entwickeln und auf die eigenen Bedürfnisse zugeschnitten in ein Produkt für den persönlichen Gebrauch umsetzen. In gemeinsamen Workshops mit Experten von Entwicklung und Marketing formulieren die „Lead User“ ihre Innovationsideen und bringen sie so aktiv in den Entwicklungsprozess von produzierenden Unternehmen ein. Die Firma Volkswagen errichtet in der „Volkswagen Autostadt“ in Wolfsburg ein „DesignLab, in dem sich das Publikum ab Herbst 2004 interaktiv mit Styling-Studien auseinander setzen und selbst Autos entwerfen kann“ [WACHS 2004]. Diese Ansätze der Kundenintegration zielen darauf ab, dass in einem engen Interaktionsprozess die Wünsche des Kunden ermittelt und für das produzierende Unternehmen formuliert werden.

In nicht-technischen Bereichen, die sich durch Produkte mit geringer Komplexität auszeichnen, liegen bereits detailliertere Erkenntnisse bezüglich Interaktion zwischen Kunde und Anbieter vor. Die Firma adidas bietet unter dem Namen „mi adidas“ individualisierbare Sportschuhe an. Diese werden in einer zentralen Produktionsstätte hergestellt. Um die Kundenwünsche ausreichend stabil aufnehmen zu können, führen Mitarbeiter so genannte Handelstouren durch, bei denen auch

die Geräte zur Aufnahme der individuellen körperlichen Eigenschaften der Kunden im Rahmen spezieller Veranstaltungen mitgeführt werden. Obwohl der Preis bei ca. 150% des Preises von Schuhen aus dem üblichen Sortiment liegt, wurde „mi adidas“ mit derartigen Handelstouren in „USA, Europa und Japan etabliert“. Auswertungen ergaben, dass 97% aller Kunden einen permanenten „mi adidas“-Service beim Händler wünschen [DORSCH & WALCHER 2004].

1.1.4 Produktion in Absatzmarktnähe

Konzepte für eine Aufnahme der Kundenwünsche und eine Produktion in direkter Absatzmarktnähe existieren bereits für Produkte von geringer Komplexität, die nach individuellen Anforderungen hergestellt werden. Traditionell bedienen beispielsweise Handwerksbetriebe (Einzelfertiger) lokal abgegrenzte Absatzmärkte. Gemeinsam mit dem Kunden wird das gewünschte Produkt definiert. Basierend darauf entwickeln Einzelfertiger das entsprechende kundenspezifische Produkt. Meist werden auch die zugehörigen Produktionsabläufe auftragspezifisch definiert (vgl. [PILLER 2003]).

Gleichzeitig ist zu beobachten, dass auch die Produktion technisch anspruchsvoller Produkte tendenziell den Absatzmärkten folgt [REITHOFER 2003; NISSAN 2002]. Gründe hierfür können monetär begründet sein. Beispielsweise ist es dadurch möglich, Einfuhrzölle zu umgehen, Währungsschwankungen abzusichern, oder „local content“-Auflagen zu erfüllen. Eine weitere Motivation für die Produktion im Absatzmarkt kann die Nutzung strategischer Vorteile sein, wie eine Markterschließung durch Produktionsaktivitäten oder der Abbau von emotionalen Markteintrittsbarrieren. BMW produziert beispielsweise diejenigen Modellreihen in den USA, die dort auch ihren Hauptabsatzmarkt haben. Beim Hersteller von Elektrogeräten Panasonic „werden circa 60% der in Europa verkauften Produkte auch hier hergestellt“ [PANASONIC 2004]. Eine vorwiegend durch Lohnkosten motivierte Verlagerung der Produktion in so genannte „Niedriglohn-Länder“ hingegen ist in erster Linie für „lohnintensive Tätigkeiten bei Produkten mit geringer bis mittlerer Komplexität“ [DANTZER & RÖHRIG 2004] festzustellen. Bei komplexen Produkten hingegen treten die Vorteile einer Produktion in Marktnähe in den Vordergrund, da diese unter Logistikaspekten zunehmend wirtschaftlich lohnend wird. Aufgrund der positiven Entwicklung der Absatzmärkte zum Beispiel in Osteuropa wird eine Verlagerung nicht nur wegen der zu erwartenden niedrigeren Lohnkosten, sondern auch unter Gesichtspunkten der Logistik interessant

[DANTZER & RÖHRIG 2004]. Dass eine Platzierung der Produktion in Absatzmarktnähe nicht nur unter monetär schwierig belegbaren Beweggründen wie beispielsweise einer „besseren Kundenorientierung“, sondern auch unter nachrechenbaren Kostenaspekten interessant ist, lässt sich aus der aktuellen wirtschaftlichen Praxis ableiten. „*Würde Ford einen in Valencia gefertigten Focus nach Deutschland transportieren, wäre er durch die Transportkosten teurer, als ein Auto aus Köln.*“ [SCHLOTT 2002]. Bei „*komplexen Produkten mit hohem Qualitätsanspruch*“ tritt die Nutzung von Niedriglöhnen in den Hintergrund. Im Mai 2004, wenige Tage nach der EU-Osterweiterung, antwortete Bernhard Mattes, Vorstandschef der Kölner Ford-Werke AG, auf die Frage nach Kosteneinsparungen durch Arbeitsplatzverlagerung nach Osteuropa, dass dies kein Thema sei [MATTES 2004].

1.1.5 Umgang mit steigender Innovationsgeschwindigkeit

Kunden anspruchsvoller mechatronischer Produkte fordern Erzeugnisse auf dem neuesten Stand der Technik und von höchster Qualität. Produktionsunternehmen setzen daher auf eine fortlaufende Verbesserung bestehender sowie die Entwicklung neuer Produktionstechnologien, um innovative Produkte wirtschaftlich herstellen zu können. Eine besondere Herausforderung ist dabei der Umgang mit den kürzer werdenden Innovationszyklen [SPATH ET AL. 2001] beim Produkt und bei der Produktionstechnologie. „*Hohe Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie Produktionsanlagen stehen kürzer werdenden Amortisationsdauern gegenüber*“ [SCHUH ET AL. 2002]. Innovationsfähigkeit wird zunehmend ein wichtiger Wettbewerbsfaktor. So stieg beispielsweise bei der Firma Siemens der Umsatzanteil mit Produkten, die 5 Jahre und jünger sind, von 48% im Jahr 1980 über 55% 1985 auf 75% im Jahr 2003 [NOTTBECK 2004] (siehe Abbildung 3).

Die Einführung innovativer Produkte mit umfangreicherer Funktionalität, häufig begleitet von Anforderungen hinsichtlich Miniaturisierung oder Leichtbau, macht gegebenenfalls die Entwicklung neuer Materialien notwendig. Um derartige Produkte wirtschaftlich produzieren und somit zu einem konkurrenzfähigen Preis anbieten zu können, sind „*neue Fertigungs- und Bearbeitungstechnologien in Entwicklung*“ [NOTTBECK 2004].

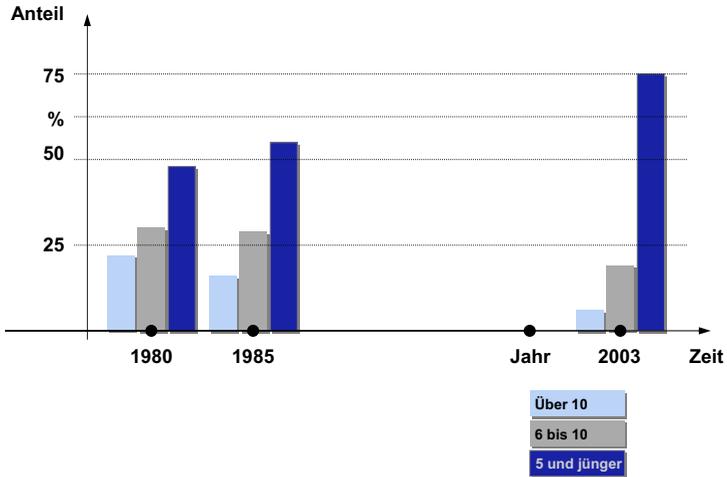


Abbildung 3: Innovationsgeschwindigkeit

1.2 Fazit

Absatzmärkte für technische Gebrauchsprodukte sind in einem zunehmenden Maße durch eine Fragmentierung (Aufteilung eines größeren Gesamten) und eine Heterogenisierung (Tendenz zu einer Ungleichartigkeit) der Nachfrage gekennzeichnet (*Divergierende Kundenwünsche*, Abschnitt 1.1.2). Es ist festzustellen, dass auch im Bereich der technischen Gebrauchsgüter ein Marktbedarf nach Produkten besteht, welche die Anforderungen des einzelnen Kunden genau erfüllen. Dies zeigt sich insbesondere auf finanziell lukrativen Märkten [KATZENSTEINER & RAUWALD 2003], die gleichzeitig jedoch Sättigungstendenzen aufweisen. Um auf diesen Märkten erfolgreich zu sein, müssen Produktionsunternehmen ihr *Angebot zielgerichtet* dahingehend *erweitern* (Abschnitt 1.1.3), dass das verfügbare Produktportfolio die Erwartungen der Kunden trifft. Zudem müssen seitens Produkt sowie Herstellungs- und Vertriebsprozess ausreichend Möglichkeiten vorhanden sein, um das einzelne Produkt nach Kundenwünschen auszurichten. Eine Betrachtung von derzeit etablierten Verfahren der variantenreichen Serienproduktion zeigt, dass allein eine weitere Ausarbeitung der bekannten Produktdiversifikationsstrategien nicht ausreichend ist. Trotz einer teilweise extrem großen Angebotsbreite können nicht alle Kundenwünsche erfüllt werden, da Produktkomponenten nicht nach der Spezifikation einzelner Kunden, sondern auf der Basis von Marktforschung für einen ganzen Kundenkreis entwickelt werden. Als

Auswirkung hiervon ist der Kunde gefordert, dasjenige Produkt ausfindig zu machen, das seinen Anforderungen am nächsten kommt. Dies wird jedoch oft gerade durch die weit getriebene Angebotsvielfalt erschwert. Häufig kauft der Kunde Produktumfänge, die ursprünglich nicht gewünscht waren, jedoch im verfügbaren Produkt enthalten sind. In der Praxis wirkt sich eine Produktkonzeption, die sich unzureichend an den Kunden orientiert, dahingehend aus, dass ein gewisser Anteil der entwickelten Varianten nicht den gewünschten Markterfolg erzielt. In einem Wettbewerbsumfeld, das sich durch Globalisierung bei Produktentwicklung, Beschaffung, Produktion und Absatz auszeichnet, erweist sich zudem eine Strategie als erfolgreich, die eine tendenzielle Positionierung von *Produktionsstätten in Absatzmarktnähe* (Abschnitt 1.1.4) verfolgt. Aufgrund der ansteigenden *Innovationsgeschwindigkeit* (Abschnitt 1.1.5) müssen die Produktionsstandorte zudem aufwandsarme Anpassungen zulassen. Produzierende Unternehmen sind gefordert, „*global verteilte Produktionsstandorte aufzubauen und zu betreiben. Treiber hierfür sind zum einen die immer wichtiger werdende Marktnähe (Kundennähe), zum anderen die Erfüllung von „Local-Content“-Anforderungen [...]*“ [SCHUH ET AL. 2004].

Eine verstärkte Kundenorientierung auf Käufermärkten mit Sättigungstendenzen erfordert neue Wertschöpfungsprinzipien, die sich durch eine Kundeninteraktion und damit Kundennähe auszeichnen. Wolfgang Reitzle, von 1987 bis 1999 Mitglied des Vorstands bei BMW und von 1999 bis 2002 Vorstandsvorsitzender der Premier Automotive Group mit den Luxusmarken des Ford-Konzerns (Aston Martin, Volvo, Jaguar, Land Rover, Lincoln und Mercury), bringt die künftigen Anforderungen an die Herstellung mechatronischer Produkte am Beispiel des Automobils auf den Punkt: „*Man müsste [...] die Autos in Zukunft so konstruieren, dass man die Endstufe der Individualisierung beim Händlerbetrieb im Rahmen des Kaufvorgangs durchführt. [...] Die schon hochwertige Standardausführung wird beim Händler individualisiert, wenn der Kunde kommt. Das ist der Trend.*“ [REITZLE 2001].

Neben einer verbesserten Kundeninteraktion eröffnet eine Produktion in Marktnähe bei komplexen Produkten mit einem geringen manuellen Fertigungsanteil wirtschaftliche Potenziale. Bei diesen Produkten treten internationale Lohngefälle gegenüber Logistikaspekten bei der Standortwahl für Produktionsstätten in den Hintergrund. Produzierende Unternehmen siedeln Produktionsstätten daher bereits heute häufig in der Nähe von *Hauptabsatzmärkten* an. Mit dem Ansatz einer

marktnahen Produktion individualisierter technischer Produkte lassen sich die Vorteile einer engen Kundeninteraktion mit monetären Logistikvorteilen verknüpfen. Bei derzeit realisierten Ansätzen werden diese Vorteile lediglich beim Hauptabsatzmarkt ausgeschöpft. Im Hauptabsatzmarkt wird eine Produktionsstätte platziert, welche marktfähige Endprodukte herstellt. Zur Versorgung kleinerer Märkte werden die fertigen Produkte dorthin transportiert. Dies läuft in der Regel in einem Verbund von Werken mit einer definierten Rollenverteilung ab [SCHUH ET AL. 2004 B]. Eine Produktion in der Nähe mehrerer wichtiger Absatzmärkte würde vergleichbare Kompetenzen der entsprechenden Fabriken erfordern. Dem steht der hohe Aufwand für die Vervielfältigung von derzeit verfügbaren Fabrik- und Produktionsanlagen entgegen. Dieser Aufwand ist häufig höher als die mittels marktnaher Produktion erzielbaren monetären Vorteile. Die bei den etablierten Produktionsverfahren erheblichen Kosten für Anlagen und Werkzeuge werden auf eine hohe Stückzahl an gefertigten Teilen verteilt. Im Gegenzug werden Variantenkomplexität in der Produktion, Logistikaufwand und Transportkosten in Kauf genommen.

Derzeitige industrielle Produktionsverfahren, Fabrikstrukturen und Methoden der Fabrikplanung lassen eine marktnahe Produktion individueller technischer Produkte im industriellen Maßstab nicht zu, ohne Kosten zu verursachen, die erheblich über den Kosten einer variantenreichen Serienproduktion liegen.



2 Begriffsdefinitionen und Abgrenzung des Betrachtungsraums

2.1 Begriffsdefinitionen

2.1.1 Betrachtete Produkte

Bei der Abgrenzung der Wirtschaftseinheiten im volkswirtschaftlichen Leistungszusammenhang lassen sich idealtypisch die Gruppen „Produktionswirtschaft“ und „Konsumtionswirtschaft“ unterscheiden [HEINEN 1991]. Im Bereich der Produktionswirtschaft erfolgt eine prinzipielle Differenzierung zwischen „Dienstleistungsbetrieben“ und „Sachleistungsbetrieben“ [HEINEN 1991]. Dabei ist in den letzten Jahren vermehrt eine Aufweichung der scharfen Abgrenzung zu beobachten, da hier eine Integration der Betätigungsfelder von Unternehmen stattgefunden hat. So werden vermehrt Leistungsbündel aus materiellen Produkten (Sachprodukten), die um Dienstleistungen ergänzt werden, angeboten. In Analogie zur genannten Unterscheidung von Dienst- und Sachleistungsbetrieben wird in der vorliegenden Arbeit das materielle Produkt mit dem Begriff „Produkt“ oder, wenn dies für eine gezielte inhaltliche Abgrenzung relevant ist, mit dem Ausdruck „Sachprodukt“ charakterisiert. Mit ihrer produktionsbezogenen Sichtweise zieht die vorliegende Arbeit lediglich die Herstellung von individualisierten *Sachprodukten* in Betracht.

In einem weiteren Schritt bei der betriebswissenschaftlichen Klassifizierung von Produkten lassen sich prinzipiell „Investitionsgüter“ und „Konsumgüter“ unterscheiden. Während Investitionsgüter von ihren Käufern dazu genutzt werden, um Einnahmen zu erwirtschaften, werden Konsumgüter unmittelbar oder durch ihre Nutzung verbraucht. Eine kundenspezifische Entwicklung und Herstellung von technisch komplexen Produkten ist traditionell eher dem Bereich der Investitionsgüter zuzuordnen. Als Beispiel hierfür ist Anlagenbau zu nennen. Wie im vorangegangenen Kapitel erwähnt, sind derzeit die kundenindividuelle Konstruktion und Realisierung bei technisch komplexen Konsumgütern in der Regel bei relativ aufwändigen und kostenintensiven Sonderanfertigungen vorzufinden. Auf zunehmend gesättigten Märkten ist jedoch ein ansteigender Bedarf an individualisierten Produkten in größerem Umfang festzustellen. Inhaltlicher Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit ist die Individualisierung von technischen Produkten für den Endkonsumenten. Um die vergleichsweise hohe technische Komplexität der

fokussierten Produktgruppe zu verdeutlichen, werden die Begriffe „Gebrauchsprodukt“ oder „technisches Gebrauchsprodukt“ verwendet.

Im einleitenden Kapitel wurde mit Beispielen für den zunehmenden Bedarf an individualisierten Gebrauchsprodukten der Betrachtungsraum der vorliegenden Arbeit skizziert. Dabei standen Produkte im Vordergrund, deren Entwicklung und Produktion auf Gebieten wie beispielsweise dem Maschinenbau oder der Elektrotechnik basieren. Bei derartigen Disziplinen ist eine zunehmende thematische und technologische Integration zu beobachten. Zur Charakterisierung hierfür hat sich das Wort „Mechatronik“ durchgesetzt. Bei dem Begriff „Mechatronik“ handelt es sich um ein Kunstwort, welches ursprünglich aus den Wörtern „*Mechanik*“ und „*Elektronik*“ gebildet wurde [BROCKHAUS 2003]. Neuere Quellen ergänzen die Mechatronik um das Gebiet der Informatik. Der Begriff „Mechatronik“ wird derzeit verwendet, um ein interdisziplinäres Gebiet zu charakterisieren, welches auf [BROCKHAUS 2004]

- Maschinenbau,
- Elektrotechnik und
- Informatik

und den thematisch verwandten Gebieten aufbaut. Dabei ist die „*Mechatronik als die größtmögliche funktionale und räumliche Integration von Mechanik, Elektrik, Elektronik und Informatik auf einem Funktionsträger*“ [ZÄH ET AL. 2004] zu verstehen.

In den Abschnitten 2.1.2 bis 2.1.4 werden die für die vorliegende Arbeit geltenden Begriffe zum Themenkomplex „Individualisierung“ hergeleitet. In Abschnitt 2.2 werden diejenigen Umfänge mechatronischer Produkte spezifiziert, die von einer Individualisierung im Sinne der vorliegenden Arbeit betroffen sind.

2.1.2 Grad der Kundenorientierung

Bei der Beschreibung von Sachprodukten oder Dienstleistungen werden Begriffe wie „individualisiert“, „kundenspezifisch“ oder „kundenindividuell“ in unterschiedlicher Bedeutung verwendet und auch in der Literatur herrscht kein einheitliches Verständnis. Vielfach werden Produkte, bei denen der Kunde die Möglichkeit hat, einzelne vorgegebene Teillösungen nach einem Baukastenprinzip zu kombinieren, bereits als „kundenindividuelle Produkte“ bezeichnet. Der Aus-

druck „Mass Customization“, zusammengesetzt aus den Begriffen „Mass Production“ und „Customization“ hat sich zur Charakterisierung der Erstellung kundenindividueller Produkte für große Absatzmärkte weitgehend durchgesetzt. Pine charakterisiert das Prinzip der Mass Customization folgendermaßen: *„At its core is a tremendous increase in variety and customization without a corresponding increase in cost“* [PINE 1993] (*Kerngedanke ist eine enorme Zunahme hinsichtlich Vielfalt und Kundenbezogenheit, ohne einen entsprechenden Anstieg der Kosten*). Für die Umsetzung dieser Ziele sind spezifische Ansätze, beginnend in der Produktentwicklung über die Kundeninteraktion bis zu Produktions- und Vertriebsprozessen, erforderlich. Die Thematik „Mass Customization“ ist daher Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Abhandlungen. Trotzdem herrscht auch hier keine einheitliche Verwendung von Begriffen. In Abbildung 4 sind verschiedene Konzeptionen von „Mass Customization“ dargestellt, die sich in der Art der Anpassung an Kundenwünsche sowie im Einflussgrad der Kundenbezogenheit auf die Ausprägung des Sachprodukts unterscheiden.

Wie bereits im einleitenden Kapitel beschrieben, fokussiert die vorliegende Arbeit die Individualisierung von materiellen Produkten aus produktionsbezogener Sicht. Betrachtet wird die Anpassung von Produktkomponenten an Kundenwünsche. Daraus resultieren spezifische Anforderungen an die entsprechende Fertigung der Teile. Aus dieser Motivation sind in der vorliegenden Arbeit die Konzeptionen der so genannten „Hard Customization“ laut Abbildung 4 näher zu untersuchen. Bei der Gestaltung kundenspezifischer Produkte ist eine Differenzierung in den Bereichen „Montage“ oder „Veredelung“ nicht ausreichend. Hingegen sind die beiden Unterpunkte „Modularisierung nach dem Baukastenprinzip“ und „Massenhafte Fertigung von Unikaten“ laut Abbildung 4 von Bedeutung.

Konzeptionen der Mass Customization	
Soft Customization <i>Kein Eingriff in die Fertigung, Vollzug der Individualisierung außerhalb des Unternehmens</i>	Hard Customization <i>Varietät basiert auf Aktivitäten der Fertigung, Änderung der internen Funktionen notwendig</i>
Selbstindividualisierung Konstruktion und Fertigung standardisierter Produkte mit eingebauter Flexibilität, die vom Kunden selbst angepasst werden	Individuelle End-/Vorproduktion mit standardisierter Restfertigung Entweder die ersten (Materialverarbeitung) oder die letzten Wertschöpfungsschritte (Montage, Veredelung) werden kundenindividuell durchgeführt, alle anderen standardisiert
Individuelle Endfertigung im Handel/Vertrieb Auslieferung eines einheitlichen Rohproduktes, das im Handel nach Kundenwunsch vollendet wird.	Modularisierung nach Baukastenprinzip Erstellung kundenspezifischer Produkte aus standardisierten kompatiblen Bauteilen
Serviceindividualisierung Ergänzung von Standardprodukten um individuelle sekundäre Dienstleistungen	Massenhafte Fertigung von Unikaten Individuelle Leistungserstellung über ganze Wertkette durch standardisierte Prozesse

Umfang kundenindividueller Wertschöpfungsstufen

Abbildung 4: Mass Customization – Konzeptionen [PILLER 2003]

Wie im einleitenden Kapitel aufgezeigt, ist bei komplexen technischen Produkten die „Modularisierung nach Baukastenprinzip“ weit verbreitet und trägt dazu bei, dass dem Kunden bei der Konfiguration seines Produktes eine Vielzahl an Freiheitsgraden zu Verfügung steht. Eine „massenhafte Fertigung von Unikaten“ ist derzeit in nicht-technischen Bereichen zu finden. Als Beispiele hierfür sind maßkonfektionierte Schuhe oder Kleidung mit individuellen, an die Körpermaße des Kunden angepassten Schnittmustern zu nennen. „Maßgeschneiderte“ technische Produkte, bei denen Produktkomponenten nach Kundenwunsch gestaltet werden, sind derzeit nur in geringen Stückzahlen und zu hohen Preisen erhältlich [MAYBACH 2004].

Die vorliegende Arbeit behandelt die Ausweitung der Strategie „Massenhafte Fertigung von Unikaten“ auf technische Produkte. Um die für diese Arbeit essenzielle Abgrenzung zwischen variantenreicher Serienproduktion und der industriellen Herstellung individualisierter Produkte in einer eindeutigen Weise festzu-

legen, werden im Folgenden Begriffe spezifiziert, die innerhalb der Arbeit eine eindeutige Identifikation und Zuordnung von Produktionskonzepten und Bezeichnungen zulassen. Bei einer produktionsbezogenen Betrachtung der Herstellung technischer Produkte werden die Begriffe „Produktdiversifikation“ und „Produktindividualisierung“ verwendet. In beiden Fällen liegt ein durch technische, rechtliche oder wirtschaftliche Bestimmungen festgelegtes Basisprodukt vor. Unterschiede treten bei den Konfigurations- und Gestaltungsmöglichkeiten seitens des Kunden auf.

2.1.3 Produktdiversifikation

Der Begriff „Produktdiversifikation“ bezieht sich auf das Grundprinzip „Modularisierung nach Baukastenprinzip“. In der vorliegenden Arbeit wird der in Abbildung 5 vereinfacht dargestellte Ablauf als Produktdiversifikation bezeichnet.

Basierend auf der Entscheidung, welche Produktgattung hergestellt werden soll, wird ein Basisprodukt entwickelt, dessen Auslegung durch technische oder rechtliche Notwendigkeiten bestimmt wird. Diese technische Basis (Plattform) wird durch spezifische Umfänge, deren Auswahl beim Kunden liegt, ergänzt. Die Konzeption und Auslegung der spezifischen Umfänge erfolgt in der Produktentwicklung. Hierfür werden zunächst mit Methoden der Marktforschung wie beispielsweise [LÜTHJE 2004]

- Virtuelle Produktkliniken,
- Neue Verfahren der Conjoint-Analyse,
- Online-Marktforschung oder
- Empathic Design

die Anforderungen potenzieller Kunden ermittelt (Punkt 1). Eine weitere Möglichkeit, Marktbedürfnisse zu erfassen, ist eine Vor-Ort-Präsenz durch Design- und Entwicklungszentren in wichtigen Absatzmärkten.

Ausgehend von den Kundenwünschen erfolgt unternehmensintern durch Mitarbeiter der Produktentwicklung eine Transformation in ein Produkt-*Programm* mit unterschiedlichen fertig entwickelten Produktkomponenten (Punkt 2), die mit dem technischen Basisprodukt kombinierbar sind. Das technische Basisprodukt sowie Varianten von Produktkomponenten werden vorproduziert, eine Varian-

tendifferenzierung und damit eine Zuordnung zum Kundenauftrag finden im allgemeinen im Rahmen des Montageprozesses statt (Punkt 3). Der Kunde kann sich durch eine für ihn spezifische *Konfiguration* die gewünschte *Variante* des Endprodukts aus dem Produktprogramm zusammenstellen, die seinen Vorstellungen am nächsten kommt (Punkt 4). Es ist denkbar, dass einzelne Endprodukte die Vorstellungen von großen Kundengruppen treffen und dementsprechend erfolgreich sind, während andere fertig entwickelte und unter Umständen vorproduzierte Produktvarianten schwierig abzusetzen sind.

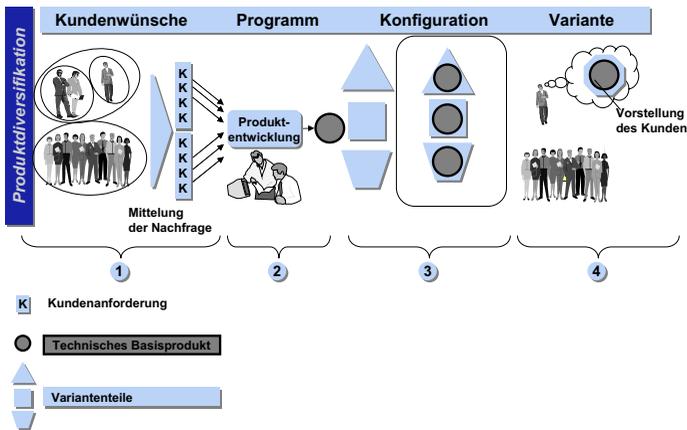


Abbildung 5: Produktdiversifikation – vom Kundenwunsch bis zur Variante des Produkts

2.1.4 Produktindividualisierung

Beim Begriff „Produktindividualisierung“ finden sich die Charakteristika des Bereichs „Massenhafte Fertigung von Unikaten“ aus Abbildung 4 wieder. Abbildung 6 detailliert den Prozess, der in der vorliegenden Arbeit als Produktindividualisierung bezeichnet wird.

Mit dem Ansatz, für jeden einzelnen Kunden eine grundlegende Neuentwicklung von technischen Lösungen durchzuführen, ist eine wirtschaftliche Produktion individualisierter Gebrauchsprodukte nicht realisierbar. „Vielmehr sind individualisierte Leistungen auf Basis einer Standardlösung abzuleiten“ [EVERSHEIM & SCHUH 2003]. Ausgehend von den Kundenerwartungen wird bei der Produktindividualisierung daher die Produktgattung festgelegt (Punkt 1’). Durch Mitarbeiter der Produktentwicklung (Punkt 2’) erfolgt die umfassende Vorausplanung eines

2.1 Begriffsdefinitionen

Produkt-Spektrums [LINDEMANN & BAUMBERGER 2004]. Auch bei der Produktindividualisierung liegt ein technisches Basisprodukt vor: „Grundsätzlich gibt es einen vordefinierten fixen Bereich, der bei der Spezifizierung konkreter Produktdefinitionen nicht zu verändern ist. Dieser Bereich wird bei variantenreichen Produkten oft auch als Plattform bezeichnet“ [LINDEMANN & PONN 2004]. Die Spannweite dieses Produktspektrums wird durch technische oder gesetzliche Randbedingungen determiniert. Die einzelnen gestaltbaren, kundenrelevanten Produktkomponenten sind noch nicht endgültig festgelegt. Basierend hierauf kann der Kunde innerhalb des Produktspektrums durch individuelle Gestaltung von Produktkomponenten (Punkt 3') eine individuelle Ausprägung des Produktes erhalten. In Anlehnung an [REITZLE 2001] und aufgrund der genannten monetären Vorteile einer marktnahen Produktion komplexer Produkte stellt Abbildung 6 ein Modell vor, in dem die individuellen Komponenten in räumlicher Nähe zum Kunden hergestellt werden (Punkt 4'). So können auch Abläufe berücksichtigt werden, wie sie bei der Individualproduktion durch lokal operierende Einzelfertiger auftreten. Das in Abbildung 6 vereinfacht dargestellte Modell wird in der vorliegenden Arbeit detailliert.

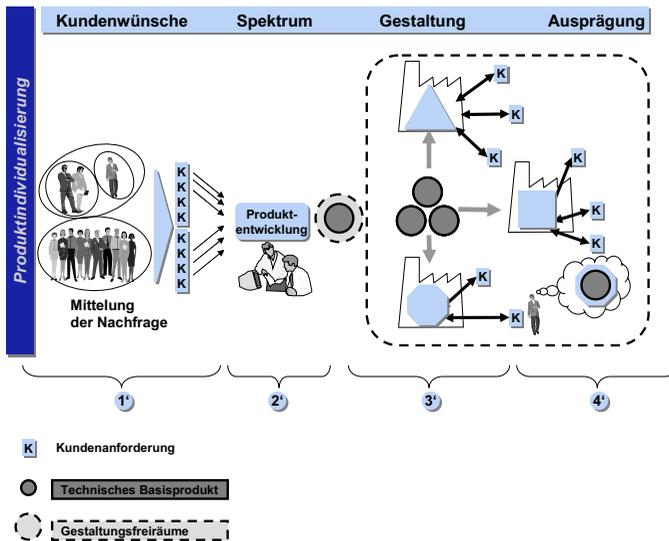


Abbildung 6: Produktindividualisierung – vom Kundenwunsch bis zur individuellen Ausprägung des Produkts

2.2 Abgrenzung des Betrachtungsraums

2.2.1 Produktionsunternehmen

In den Beispielen der einleitenden Abschnitte wurden Begriffe wie „industrielle Fertigung“, „Einzelfertiger“ oder „Industriebetrieb“ verwendet. Zur Abgrenzung des Betrachtungsraumes ist die Art der Produktionsunternehmen genauer zu spezifizieren. Im Hinblick auf die Produktgruppen, welche für die vorliegende Arbeit relevant sind, wurde in Abschnitt 2.1.1 die Differenzierung zwischen *Produktions-* und *Konsumtionswirtschaft* sowie zwischen *Dienst-* und *Sachleistungsbetrieben* behandelt. Nun soll der Bereich der Herstellung von Sachprodukten in einer weiter detaillierten Form betrachtet werden. Ein in diesem Zusammenhang hilfreiches Kriterium zur Charakterisierung von Wirtschaftseinheiten ist die Abgrenzung zwischen „Industriebetrieb“ und „Handwerksbetrieb“. Nach dieser Klassifizierung zeichnet sich der Industriebetrieb gegenüber dem Handwerksbetrieb unter anderem aus durch:

- eine höhere Zahl von Mitarbeitern,
- einen höheren Einsatz wissenschaftlicher Methoden bei der Ablauforganisation,
- einen anonymen Markt,
- erhöhten Kapitalbedarf und erhöhte Kapitalbindung infolge Anlagenintensität und
- Ersatz von Handarbeit durch Maschinenarbeit.

Diese Kriterien werden ergänzt durch ein Polaritätsprofil, welches die Kennzeichen von Industrie- und Handwerksbetrieben systematisiert (Abbildung 7). „Ziel der Systematisierung ist die gedankliche Erfassung des komplexen Objektbereichs und dessen analytische Aufgliederung in einzelne Elemente nach grundsätzlich beliebigen Kriterien“ [HEINEN 1991]. Fokus der vorliegenden Arbeit ist der *Industriebetrieb*, wenngleich das Abgrenzungskriterium bzgl. der Kundeninteraktion „anonymer Markt“, wie auch beim Ansatz der „Mass Customization“, größtenteils aufgehoben ist.

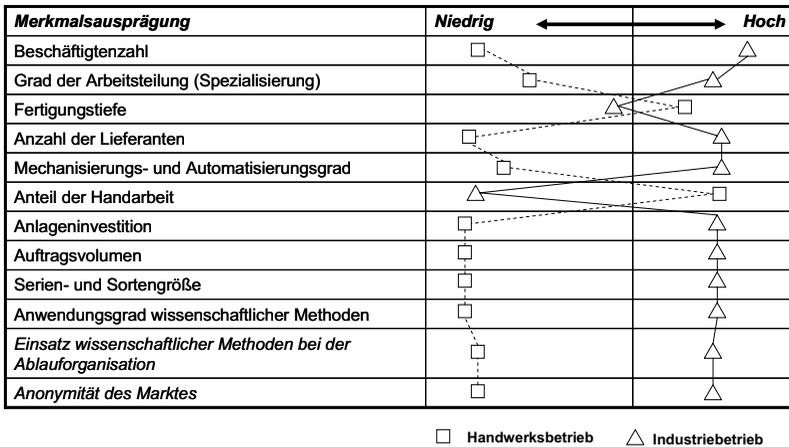


Abbildung 7: Polaritätsprofil von Industriebetrieben und Handwerksbetrieben (nach [HEINEN 1991])

2.2.2 Produktarten für die Individualisierung

Die Eignung von Produkten für eine marktnahe Produktion oder Individualisierung oder der Grad einer bereits erfolgten Umsetzung in die Praxis hängen wesentlich von der Produktart und den erforderlichen Produktionsprozessen ab. Wie im einleitenden Kapitel dargestellt, ist eine Produktion in Absatzmarktnähe aus wirtschaftlicher Sicht dann interessant, wenn eine gewisse Mindestkomplexität und ein hoher Qualitätsanspruch bezüglich des Produkts bestehen. Bei einfachen Produkten, die mit überwiegend manuellen Prozessen hergestellt werden, wird heute im Allgemeinen eine Produktion in Niedriglohnländern vorgezogen.

Hinsichtlich einer Produktindividualisierung sind ebenfalls Voraussetzungen zu erfüllen. Zum einen ist es notwendig, dass seitens des Kunden überhaupt Interesse besteht, ein Sachprodukt an seine Bedürfnisse anzupassen. So weisen unter anderem ein emotionaler Charakter des Produkts, eine hohe Nutzungshäufigkeit oder eine große Bandbreite an optionalen Funktionalitäten auf hohes Individualisierungspotenzial hin [LINDEMANN & PONN 2004]. Zum anderen sind auch auf der Seite der anbietenden Unternehmen Voraussetzungen zu erfüllen. Hierzu zählen beispielsweise die prinzipielle Fertigbarkeit und Modularisierbarkeit von Produkten oder eine Mindestanzahl an potenziellen Abnehmern sowie eine Positionie-

nung, die nicht im Niedrigpreissegment angesiedelt ist. Betrachtet werden mechatronische Produkte, die dem Gebrauchsgüterbereich (vgl. Abschnitt 2.1.1) zuzuordnen sind und sich darüber hinaus durch die in diesem Abschnitt genannten Eigenschaften auszeichnen.

2.2.3 Herzustellende Produktkomponenten

Die in dieser Arbeit betrachteten Produkte setzen sich aus einem technischen Basisprodukt und gestaltbaren Produktumfängen zusammen. Als standardisierte technische Basiskomponenten werden in diesem Zusammenhang Erzeugnisse bezeichnet, deren Ausprägungen nicht im Interessens- oder Wahrnehmungsbereich des Kunden liegen und daher in Form und Funktion unverändert in vergleichsweise großen Stückzahlen Verwendung finden. Ihre Herstellung erfolgt nach den bekannten Prinzipien der Serien- oder Massenproduktion und wird in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet. Die Herstellung kundenindividueller Teile kann erst nach Aufnahme des Kundenwunsches und seiner Umsetzung in eine Produktdefinition erfolgen. Bei individuellen Produkten, die aus einem technischen Basisprodukt und kundenspezifischen Komponenten zusammengesetzt sind, findet eine Zuordnung des Produktionsauftrags zur Kundenbestellung über die individuellen Teile statt. Auftragsneutrale Basisteile können so vorproduziert und mit geringem Bestandsrisiko auf Lager gehalten werden. Individuelle Produktkomponenten, aus denen zusammen mit auftragsneutralen Basisteilen ein individualisiertes Endprodukt komplettiert wird [ZÄH ET AL. 2003 B], werden in marktnahen Fabriken unter anderem mit innovativen flexiblen Fertigungsverfahren hergestellt. Diese Marktnähe trägt zu kurzen Lieferzeiten und hoher Termintreue bei [MILBERG 1996]. Individualisierte Produkte müssen hinsichtlich Qualität, Lebensdauer und Materialeigenschaften die gleichen Anforderungen wie Serienprodukte erfüllen. Daher beschränkt sich die Betrachtung auf die Bearbeitung von Werkstoffen, die auch bei mechatronischen Serienprodukten verwendet werden. Somit stellt das Prinzip der Produktindividualisierung unter aktiver Einbeziehung des Kunden in den Gestaltungsprozess spezifische Anforderungen an die Fertigung von Komponenten aus Blech oder Kunststoff. Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf die Herstellung von Produktumfängen wie Gehäuseteile, Verkleidungen oder Griffe, da diese Teile unmittelbar im Interessensbereich des Kunden liegen und damit über Individualisierungspotenzial (vgl. Abschnitt 2.2.2) verfügen.

2.2.4 Abgrenzung zu anderen Disziplinen

Die Betrachtung des Konzepts einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte unter einzelnen Aspekten wie beispielsweise Fertigungskosten, Kundenbindung, Produktkonstruktion und ein Vergleich dieser Aspekte mit ihren Pendanten bei anderen Produktionskonzepten gestaltet sich problematisch. So ist zu erwarten, dass bei der Herstellung individueller Produkte wie auch bei der variantenreichen Serienproduktion die reinen Herstellkosten über denjenigen einer Massenproduktion liegen. *„Kosten für Fehlentwicklungen, Produktanpassungen, hohe Lagerbestände und Abschreibungen auf nicht absetzbare Erzeugnisse oder Umsatzeinbußen durch Rabatte werden bei einer reinen fertigungsbezogenen Betrachtung oft nicht gesehen, beeinflussen aber auf der Ebene des gesamten Wertschöpfungs-systems dessen Wettbewerbsfähigkeit erheblich“* [REICHWALD & IHL 2004]. Daher sind zur Betrachtung eines gesamten Wertschöpfungsmodells verschiedene Disziplinen mit der Fabrikplanung in Verbindung zu setzen. Hier sind in erster Linie die Betriebswirtschaftslehre oder die Produktentwicklung sowie fertigungstechnische Spezialdisziplinen zu nennen. Die Betriebswirtschaftslehre untersucht beispielsweise die verstärkte Integration des Kunden, der im Wertschöpfungsprozess ausgehend von einem vorhandenen Leistungspotenzial die von ihm gewünschte Leistung in Interaktion mit dem Anbieter spezifiziert [REICHWALD & PILLER 2002]. Die *„umfassende Vorausplanung des Produktspektrums“* [LINDEMANN & BAUMBERGER 2004] sowie Methoden zur aufwandsarmen kundeninteraktiven Anpassung werden in der Disziplin Produktentwicklung behandelt. Methoden zur Modellierung und Eigenschaftsabsicherung von Produktspektren sowie zur Adaption des Produktes nach spezifischen Kundenwünschen werden entwickelt. Diese ermöglichen es, *„auf Baugruppenebene eine Varianz zu erzeugen“* [LINDEMANN & PULM 2001]. Derart individualisierte Umfänge werden gemeinsam mit vordefinierten Komponenten zu Gesamtprodukten zusammengesetzt. Als Disziplinen, bei denen das Wertschöpfungsprinzip einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte neue Abläufe und Werkzeuge erforderlich macht, sind schwerpunktmäßig die Betriebswirtschaftslehre, die Produktentwicklung sowie die Fabrikplanung mit den Eingangsgrößen Fertigungstechnologien und Logistik zu nennen. Im Bereich der Fabrikplanung wird die Planung von Fertigungsbereichen für individualisierte Komponenten in marktnahen Fabriken näher betrachtet.

3 Problemstellung und Zielsetzung

3.1 Problemstellung der Arbeit

In den einleitenden Kapiteln wurden die veränderten Rahmenbedingungen beschrieben, die auf produzierende Unternehmen einwirken. Die Problematik einer zunehmenden Individualisierung der Nachfrage sowie einer vermehrt auftretenden Fragmentierung von Märkten wurde thematisiert. Es wurde unter anderem erwähnt, wie wichtig Kundenorientierung auf zunehmend gesättigten Märkten ist. Beispiele zeigen, dass eine Produktindividualisierung dazu beiträgt, neue Absatzpotenziale zu erschließen, jedoch eine enge Rückkoppelung zwischen den Unternehmen und ihren Kunden erforderlich macht. Gleichzeitig wurde aufgezeigt, dass bestehende Ansätze einer gezielten Angebotserweiterung oder einer Produktion in Absatzmarktnähe die angestrebte Zielsetzung nur zum Teil erfüllen können. Im Fokus dieser Arbeit steht daher die Produktion kundenindividueller Bauteile von komplexen technischen Produkten mittels industrieller Prozesse in Absatzmarktnähe.

Abbildung 8 zeigt einen qualitativen Vergleich der Wertschöpfungsmodelle von der variantenreichen Serienfertigung, von derzeitigen Prinzipien der Produktindividualisierung sowie von einer künftigen marktnahen Produktion individualisierter Produkte hinsichtlich wesentlicher Kostenarten. Zusätzlich sind Tendenzen bei der Zahlungsbereitschaft der Kunden sowie die Positionierung im Wettbewerb in Abhängigkeit von den Wertschöpfungsmodellen angegeben. Die einzelnen Wertschöpfungsmodelle verfügen über Kostenstrukturen, die sich in ihrer Zusammensetzung unterscheiden.

Zunächst ist das Wertschöpfungsmodell der *heutigen Produktindividualisierung* demjenigen der *variantenreichen Serienfertigung* hinsichtlich des erforderlichen Mehraufwands sowie der erzielbaren Einsparungen gegenübergestellt. Eine Produktion von kundenindividuellen Produkten führt bei ersterer zu höheren Kosten für die Produktionsplanung und -steuerung (PPS-Kosten) sowie für die Auftragsabwicklung, als dies bei der Herstellung nach dem Prinzip der Serienproduktion der Fall ist. Ebenso ist bei einer Produktindividualisierung der Personalaufwand höher, da der Gestaltungsprozess kundenindividueller Teile sowie die Umsetzung der ermittelten Kundenwünsche in der Produkt- und Produktionsplanung im Vergleich zur variantenreichen Serienproduktion einen höheren Aufwand verursachen. Ein erheblicher Unterschied zwischen Produkten der variantenreichen Se-

rienfertigung und der heutigen Produktindividualisierung tritt bei den Herstellkosten auf. Bei technischen Produkten sind in der Regel Materialien wie Metall oder Kunststoff zu verarbeiten, was geeignete Werkzeuge und Maschinen erforderlich macht. Bei industriellen Fertigungsverfahren der variantenreichen Serienproduktion steht den hohen Kosten für Produktionsanlagen und für produktspezifische Werkzeuge eine vergleichsweise hohe Anzahl an hergestellten identischen Teilen gegenüber. Dies ermöglicht die Nutzung von stückzahlbasierten Kostendegressionseffekten. Darüber hinaus trägt die über Jahrzehnte hinweg durchgeführte Weiterentwicklung dazu bei, dass die Prozesse der Serienfertigung in technologischer Hinsicht und damit auch im Hinblick auf die Fertigungskosten optimiert sind. Aufgrund der genannten Kopplung zwischen Werkzeugen und gefertigten Produktkomponenten ist eine Fertigung mit „Losgröße eins“ mit den etablierten Verfahren der Serienproduktion nicht wirtschaftlich umsetzbar. Eine Alternative für die Herstellung individualisierter Produkte ist die klassische Einzelfertigung. Diese ist überwiegend durch handwerkliche Prozesse charakterisiert, was zu vergleichsweise langen Fertigungsdurchlaufzeiten sowie zu Kosten führt, die deutlich über den Fertigungskosten der industriellen Serienproduktion liegen. Diesem Mehraufwand für die heutige Produktindividualisierung stehen erzielbare Einsparungen gegenüber. Zum einen ist die Vermeidung von Ertragseinbußen, welche durch mangelnde Kundenakzeptanz der Produkte verursacht werden, zu nennen. Zum anderen zeigen sich Einsparpotenziale durch die Reduktion von Kosten für (Fehl-)Entwicklungen und Änderungen sowie die verminderte Kapitalbindung für Erzeugnisse und Maschinen. Bei den derzeit eingesetzten Methoden für die Erstellung von individualisierten Produkten übersteigt der erforderliche Zusatzaufwand deutlich die möglichen Einsparungen. Als Folge liegen die Herstellkosten bei heutigen Ansätzen der Produktindividualisierung wesentlich höher als bei einer variantenreichen Serienproduktion.

Der Vergleich der Wertschöpfungsmodelle der *heutigen Produktindividualisierung* und der *marktnahen Produktion individualisierter Produkte* zeigt die Variablen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der künftigen Produktindividualisierung auf. Mit geeigneten Vorgehensweisen ist es möglich, die zur Zeit wesentlich höheren Kosten beispielsweise für die Auftragsabwicklung oder die Herstellkosten gegenüber dem heutigen Niveau zu senken. Die vorliegende Arbeit fokussiert die produktionsbezogene Sicht der Herstellung individualisierter

Produkte und konzentriert sich daher auf die Kostensenkungspotenziale bei den *Herstellkosten* individualisierter Produktkomponenten.

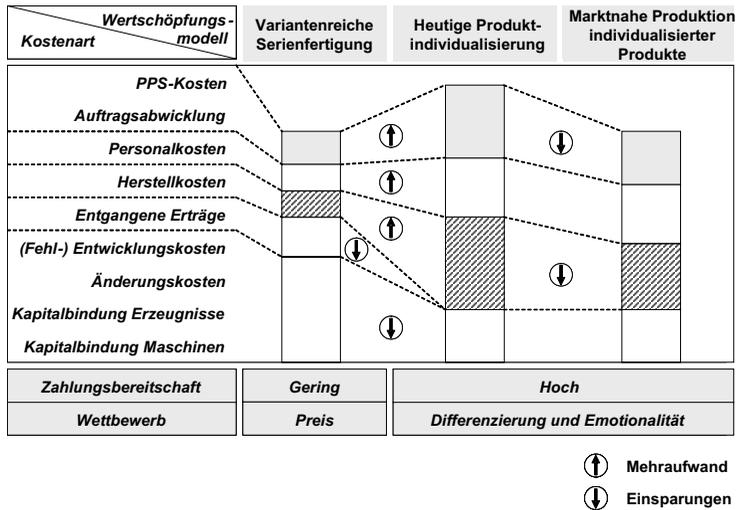


Abbildung 8: Qualitativer Vergleich der Wertschöpfungsmodelle in Bezug auf wesentliche Kostenarten [REICHWALD & IHL 2004]

3.2 Zielsetzung der Arbeit

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist die Beschreibung von Fabrikstrukturen sowie eines Vorgehens und eines Werkzeug für die Fabrikplanung, welche einen Beitrag zur Erschließung von Kostensenkungspotenzialen („*Herstellkosten*“; vgl. Abbildung 8) der industriellen Fertigung bei der Produktion individueller Komponenten leisten. Hierfür sind Fabrikstrukturen vorzustellen, welche die wirtschaftliche Planung und Umsetzung einer dezentralen, marktnahen Produktion nach industriellen Prinzipien zulassen. Darüber hinaus ist ein Fabrikplanungsvorgehen zu entwickeln, das es ermöglicht, Produktindividualisierung vergleichbar wie lokal operierende Einzelfertiger umzusetzen und die Vorteile der unmittelbaren Marktnähe zu nutzen (z. B. Kundeninteraktion, Logistik) und gleichzeitig industrielle Prozesse und Produktionsressourcen zu verwenden. Bei den betrachteten Werkstoffgruppen Metall und Kunststoff sind insbesondere neue Fertigungstechnologien als Planungsvoraussetzungen zu berücksichtigen.

Die zu entwickelnde Systematik soll einen Beitrag dazu leisten, die Kosten einer kundenindividuellen Produktion, die bei technischen Produkten derzeit wesentlich über denjenigen der Serienfertigung liegen, zu senken. Mit der Fertigung, die auf industriellen Prozessen basiert, sollen vergleichbare Konditionen wie bei einer Serienfertigung erreicht werden (vgl. Definition „Mass Customization“). Ein Schwerpunkt der Arbeit ist die Entwicklung von integrierten Prozessen für die Planung und Dokumentation von Fabrikstrukturen sowie von Optimierungen in der Produktion. Derartige Prozesse sollen die Weiter- und Wiederverwendung von Planungsinformation unterstützen und so die bekannten Effekte der Erfahrungskurve und der Standardisierung auch für verteilte Standorte nutzbar machen.

4 Stand der Forschung und Technik

4.1 Individualisierung

4.1.1 Mass Customization

Vor dem Hintergrund der Globalisierung der Märkte, des resultierenden Preiskampfes sowie eines Verdrängungswettbewerbs erscheint „eine ‚Entweder-oder-Strategie‘ zwischen Differenzierung und Kostenführerschaft nicht mehr ausreichend“ [PILLER 2001]. Vielmehr sind beide Strategien miteinander zu verknüpfen. Ein wettbewerbsstrategisches Konzept zur Erfüllung dieser Anforderung ist die so genannte „kundenindividuelle Massenproduktion (Mass Customization, vgl. Abschnitt 2.1)“: „*Mass Customization (kundenindividuelle Massenproduktion) ist die Produktion von Gütern und Leistungen für einen (relativ) großen Absatzmarkt, welche die unterschiedlichen Bedürfnisse jedes einzelnen Nachfragers dieser Produkte treffen, zu Kosten, die ungefähr denen einer massenhaften Fertigung eines zu Grunde liegenden Standardproduktes entsprechen*“ [PILLER 2001; PINE 1993]. Um Kosten und Preise von kundenindividuellen Produkten auf einem zu Serienprodukten vergleichbaren Niveau halten zu können, sind sowohl auf Produkt- als auch auf Produktionsseite Anforderungen hinsichtlich Produktart, Produktstruktur, Produktionsprozessen und Produktionsressourcen zu erfüllen. „*Skalen- und Lerneffekte werden durch geringe innere Varianz sichergestellt, exakte Befriedigung der Kundenwünsche wird durch hohe äußere Varianz ermöglicht*“ [EVERSHEIM 2001 B]. Der Begriff „Mass Customization“ wird für viele unterschiedliche Ausprägungen an Individualisierungsmöglichkeiten verwendet, die sich durch die Position der Individualisierung in den einzelnen Wertschöpfungsstufen unterscheiden (vgl. Abschnitt 2.1, Abbildung 4).

Fazit

Bei den bekannten Konzepten von „Mass Customization“ laut Abbildung 4 erfüllt also lediglich die Ausprägung „Massenhafte Fertigung von Unikaten“ die Anforderungen einer „Produktindividualisierung“ im Sinne der vorliegenden Arbeit. Für diese Form der Kundenorientierung werden derzeit die industriellen Produktionsprozesse nur für bestimmte Produktgruppen beherrscht. Die Produktionsprozesse dieser Produkte zeichnen sich dadurch aus, dass zwischen der kundenindividuellen Produktausprägung und den erforderlichen Werkzeugen keine enge Kopplung besteht. Weit verbreitete Anwendungen sind beispielsweise kun-

denspezifische Schneide- und Nähprozesse bei Kleidung und Schuhen. Anders als bei Einzelfertigern, die kundenindividuelle Produkte für einen geografisch eng abgegrenzten Absatzmarkt erzeugen, kommen für Konzepte der Mass Customization in der Regel wenige Produktionsstätten zum Einsatz. Eine Folge dieser Zentralisierung ist ein vergleichsweise komplizierter Prozess für die Aufnahme des Kundenwunsches und seine Weiterleitung in die Produktion. Kundenwünsche werden aufgenommen und gebündelt an die Produktionsstätte kommuniziert. Als Folge sind die Unternehmen mit einer erheblichen Komplexität in Produktion und Logistik konfrontiert. Bei der Auslieferung der individuellen Produkte hat der Kunde erhebliche Lieferzeiten in Kauf zu nehmen, die meist durch Transport- und Liegezeiten der Produkte noch verlängert werden.

4.1.2 Herstellung kundenindividueller technischer Produkte

Bei Produkten, die nach dem Prinzip der variantenreichen Serienproduktion hergestellt werden, wird die Funktionalität seitens der Produktentwicklung so gestaltet, dass sie den Bedürfnissen eines definierten, möglichst großen Kundenkreises gerecht wird. So werden beispielsweise Greifräume sowie Hebel und Stellteile von Gebrauchsprodukten nach statistisch erfassten anthropometrischen Daten ausgelegt. Hierbei dient der so genannte „Perzentil-Ansatz“ als Referenz. In der Regel werden Produkte in Bezug auf ihre Maße so ausgelegt, dass sie für die statistische Bandbreite von der „5-Perzentil-Frau“ (nur 5 Prozent der Frauen unterschreiten die Maße) bis zum „95-Perzentil-Mann“ (nur 5 Prozent der Männer überschreiten die Maße) geeignet sind. Für die dadurch berücksichtigte Gesamtheit an potenziellen Kunden sind somit Erreichbarkeit und Bedienbarkeit der Stellteile nahezu vollständig gewährleistet. Außerhalb dieses Personenkreises gibt es Menschen mit individuellen körperlichen Abweichungen. Um auch diesen die Nutzung von technischen Produkten möglich zu machen, ist eine Adaption des einzelnen Produktes erforderlich, so dass dieses nicht nur auf die Anforderungen einer Gruppe von Kunden abgestimmt ist, sondern auf das individuelle Profil eines einzelnen (Abbildung 9). Als Beispiel hierfür kann die technische Anpassung von Automobilen an die individuellen Anforderungen von Menschen mit fehlgebildeten Armen genannt werden [FELITEC 2005]. Ausgangspunkt für die Adaption ist ein technisches Basisprodukt, das nach dem konventionellen Prinzip der variantenreichen Serienproduktion hergestellt wird. Ausgehend von dieser Basis wird spezifiziert, welche technischen Anpassungen notwendig sind, damit der Kunde mit seinem individuellen Anforderungsprofil das Produkt nutzen

kann. Die entsprechend individualisierten Komponenten werden bei dieser Art der Produktindividualisierung mit handwerklich geprägten Prozessen hergestellt.

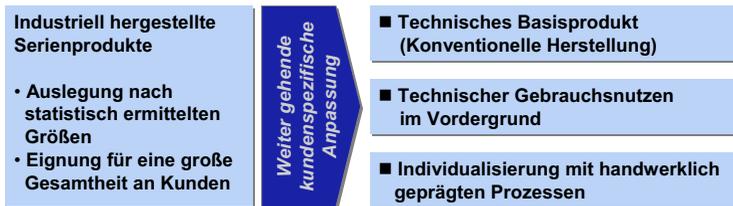


Abbildung 9: Merkmale der Realisierung von kundenindividuellen technischen Produkten auf der Basis von Serienprodukten

Fazit

Diese Art der Herstellung von kundenindividuellen technischen Produkten nimmt also die in Abschnitt 2.2.3 beschriebene Produktstrukturierung auf. Ausgehend von einem technischen Basisprodukt werden nur diejenigen Produktumfänge individuell entwickelt und gefertigt, die unmittelbar im spezifischen Interessensbereich des Kunden liegen. Dieser individuelle Umfang soll näher betrachtet werden: Bei der hier beschriebenen Art der Herstellung individueller technischer Produkte steht die Funktion gegenüber emotional begründeter Individualisierung im Vordergrund. Für die Fertigung kundenspezifischer Umfänge kommen Prozesse zum Einsatz, die keine produktspezifischen Werkzeuge verwenden bzw. es werden flexible Materialien eingesetzt. Um unspezifisches Rohmaterial verwenden zu können, werden Nachteile beim äußeren Erscheinungsbild in Kauf genommen. Es handelt sich um eine handwerklich geprägte Fertigung, die mit vergleichsweise hohen Kosten verbunden ist.

4.1.3 Individualisierung von Luxusgütern

In bestimmten Marktsegmenten technisch komplexer Produkte, in denen der Kunde einen emotionalen Bezug zum Produkt hat, werden die Möglichkeiten einer Produktindividualisierung angeboten, die über eine Diversifikation hinausgeht. Auf der Basis von einer hochwertigen Basisvariante hat der Kunde die Möglichkeit, mittels Baukastenstrategie sowie unter Einbeziehung individueller Komponenten sein Produkt zu gestalten. Die individuellen Komponenten werden größtenteils durch handwerklich geprägte Prozesse in kleinsten Stückzahlen an einem zentralen Ort hergestellt [MAYBACH 2004]. Die Motivation für die Individu-

alisierung ist dabei emotional begründet. Verglichen mit der Produkthanpassung gemäß Abschnitt 4.1.2 gewinnt die Gestaltung der individuellen Umfänge erheblich an Bedeutung, was in der Regel auch kostspieligere Herstellungsprozesse zur Folge hat.

Fazit

Dieses Konzept, das nicht nur eine reine Umsetzung von technischen Spezifikationen in ein technisches Produkt wie in Abschnitt 4.1.2 fokussiert, sondern dem Kunden individuelle Gestaltungsmöglichkeiten im Entwicklungsprozess gibt, verfolgt also teilweise eine vergleichbare Zielsetzung wie die in dieser Arbeit beschriebene. Die strategische Ausrichtung dieser Art von Produktindividualisierung unterstützt jedoch nicht die Erschließung von breiten Kundenkreisen. Aufwändige Bearbeitungsprozesse verursachen sehr hohe Kosten. Die Herstellung in kleinsten Stückzahlen ermöglicht die aus Kundensicht erwünschte Individualität und Exklusivität. Unternehmensintern aber hat sie zur Folge, dass Kostendegressionseffekte nur in einem sehr geringen Maße wirksam werden. Die Ansatzpunkte der vorliegenden Arbeit werden dadurch bestätigt.

4.2 Gestaltung der Produktion

4.2.1 Integration von Produktentwicklung und Produktionsplanung

Die schnelle Einführung von Produkten und damit die möglichst kurzfristige Reaktionsfähigkeit auf Marktanforderungen tragen wesentlich zur Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen in einem turbulenten Umfeld bei. Methoden des „Simultaneous Engineering“ haben einen erheblichen Einfluss auf die Verkürzung von Entwicklungs- und Planungszeiten. Neben einer Zeiteinsparung durch die Parallelisierung von Tätigkeiten kann eine *integrierte Betrachtung und Bearbeitung von logisch zusammengehöriger Information* aus den Bereichen der Produkt- und Produktionsprozessgestaltung die Effizienz der Abläufe erhöhen. Tätigkeiten des Entwickelns und Konstruierens sowie der Montageplanung sind durch iteratives Vor- oder Zurückspringen zu einem oder mehreren Arbeitsschritten gekennzeichnet [VDI RICHTLINIE 2221 1993]. Mit einer Reduktion von iterativ ablaufenden Anpassungstätigkeiten durch die Entwicklung effizienter Prozesse können beteiligte Mitarbeiter von Routinetätigkeiten entlastet werden. Im Vergleich zu einer getrennten Bearbeitung lässt eine integrierte Planung gegenseitige

Abhängigkeiten und Einflüsse erkennen [REINHART ET AL. 2000 B; LINDEMANN ET AL. 2000; GRUNWALD 2002].

Fazit

Methoden und Werkzeuge für eine systematische Optimierung der Zusammenarbeit von Produktentwicklung und Produktionsplanung wurden beispielsweise im Sonderforschungsbereich (SFB) 336 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) „Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung“ entwickelt. Die gemeinsame Betrachtung von Produktentwicklung und Montageplanung geht dabei weit über eine reine Untersuchung der Montierbarkeit von Produkten hinaus und schließt die Objekte Produkt, (Montage-)Vorgang und Anlage ein [REINHART ET AL. 2000 B]. Untersuchungsobjekte sind beispielsweise Fügeprozesse in der Montage, die zugehörige Geometrie der zu fügenden Komponenten oder die Gestaltung von Handhabungs- und Transporthilfsmitteln. Für die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit lässt sich ableiten, dass in einem integrierten Vorgehen von Produktentwicklung und Produktionsplanung Produkt und Produktionssystem (Betriebsmittel) in gegenseitiger Abstimmung zu gestalten sind. Ziel ist eine Auslegung, die es ermöglicht, verschiedene Produkte, die auf Bauteilebene Varianz aufweisen, im Produktionssystem herzustellen, ohne kosten- und zeitintensive Anpassungen erforderlich zu machen.

4.2.2 Betriebsmittel für kleine Losgrößen

Die Herstellung von Produkten erfordert geeignete Betriebsmittel wie Transport-, Handhabungs- oder Einspannvorrichtungen. Die Ausstattung von Produktionssystemen mit Betriebsmitteln erfolgt häufig produktbezogen, was mit beträchtlichem Aufwand im Entwicklungsprozess verbunden ist. „*Fixture design, fabrication, and testing take a major portion of the production development time*“ [RONG & HAN 2003] (*Die Entwicklung, die Herstellung und die Erprobung von Vorrichtungen beanspruchen einen bedeutenden Anteil an der Zeit für die Entwicklung der Produktion*). Bereits mit der in Abschnitt 4.2.1 beschriebenen integrierten Betrachtung von Produkt und Produktionsanlagen gelingt es, Iterationen effizienter zu gestalten und damit Entwicklungszeit und -kosten zu senken. Darüber hinaus wird bei der Konzeption von Betriebsmitteln versucht, auf eine starre Auslegung zu verzichten und so die Betriebsmittel für verschiedene Anwendungen nutzbar zu machen. Die zu produzierenden Teile werden mittels Ähnlichkeitsbildung zu Teile- oder Fertigungsfamilien (DIN) zusammengefasst. Ihre Bearbei-

tung kann mit Hilfe von einstellbaren Betriebsmitteln erfolgen. Noch mehr Freiheitsgrade hinsichtlich einer Wiederverwendung bei anderen Bauteilen bieten rekonfigurierbare Betriebsmittel. „*The use of modular fixtures enhances the fixture flexibility and reduces the time and cost of fixture development, especially beneficial in small volume production and new product prototyping*“ [RONG & HAN 2003] (*Die Verwendung von modularen Vorrichtungen steigert die Flexibilität der Vorrichtungen und verringert den Zeit- und Kostenaufwand für ihre Entwicklung, was bei einer Produktion in kleinen Stückzahlen und bei der Anfertigung von Prototypen besonders vorteilhaft ist*). Die zunehmende Produktdiversifikation mit kleiner werdenden Produktionsmengen pro Komponente hat dazu geführt, dass unterschiedliche Strategien entwickelt wurden, um gemeinsame Betriebsmittel für mehrere Produktgruppen verwenden zu können. Durch geeignete Konstruktion sind Betriebsmittel nicht länger zweckbestimmt und starr, sondern einstellbar, beispielsweise für eine Familie vergleichbarer Teile. In einem nächsten Schritt wird die Anwendbarkeit von Betriebsmitteln dadurch weiter flexibilisiert, dass ihre Komponenten in verschiedenen Konfigurationen zum Einsatz kommen (rekonfigurierbare Betriebsmittel). Mit zunehmender Flexibilisierung und damit mit steigenden Einstell- und Konfigurationsmöglichkeiten von Betriebsmitteln zeigt sich ein Zielkonflikt zwischen der zunehmenden Anpassungsfähigkeit einerseits und einer geringer werdenden statischen und dynamischen Steifigkeit andererseits.

Fazit

Die beschriebenen Ansätze mit verstellbaren oder rekonfigurierbaren Betriebsmitteln heben also eine enge Bindung vom Betriebsmittel zum hergestellten Teil teilweise auf. Ein Einsatz für eine gewisse Bandbreite an Produkten wird so ermöglicht. Diese Variabilität ist für die Fertigung von Unikaten unter Umständen nicht ausreichend. Besteht eine Abhängigkeit zwischen veränderlichen Produktmerkmalen und Betriebsmitteln, so sind Betriebsmittel unter Umständen für jedes Produkt zu rekonfigurieren. Über den Zeitaufwand hinaus sprechen oft technische Gründe gegen eine individuelle Rekonfiguration von Betriebsmitteln für jedes gefertigte Produkt. Eine Anpassbarkeit an eine hohe, nicht vorgeplante Bandbreite an unterschiedlichen Produkten erfordert umfangreiche Freiheitsgrade für die Rekonfiguration. Diese Flexibilität hinsichtlich Verstellmöglichkeiten steht in einem Zielkonflikt zu der erwünschten mechanischen Steifigkeit von Betriebsmitteln. Mit der beschriebenen integrierten Betrachtung von Produktent-

wicklung und Produktionssystemplanung sind Produktkomponenten und Betriebsmittel so zu gestalten, dass die in Abschnitt 2.2.4 „Abgrenzung zu anderen Disziplinen“ beschriebene Varianz auf Bauteilebene keine Auswirkungen auf die Betriebsmittel hat.

4.2.3 Produktionstechnologien und -ressourcen für kleine Losgrößen

Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Angebotsausweitung und der damit verbundenen Variantendiversifikation sowie aufgrund verkürzter Innovationszyklen wird das Erzielen von Kostendegressionseffekten bei den produktgebundenen Werkzeugen stark erschwert [SCHUH ET AL. 2003 C ; WESTKÄMPER ET AL. 2003 B]. Zielrichtung derartiger Strategien zur Beherrschung der Kosten ist es, mit technisch ausgefeilten Prozessen eine möglichst hohe Auslastung zu erzielen und die Fixkosten für Anlagen und Werkzeuge auf eine hohe Anzahl an hergestellten Produkten zu verteilen. Der Kosten- und Zeitaufwand pro Teil für Tätigkeiten wie

- Entwicklung von Werkzeugen,
- Herstellung von Werkzeugen,
- Rüsten der Anlage mit den Werkzeugen

sind dabei mit steigender Produktionsstückzahl rückläufig.

Bei einer großen Varianz bezüglich der hergestellten Produkte bis zur Fertigung mit „Losgröße eins“ ist die Produktion mit herkömmlichen Werkzeugen daher meist nicht wirtschaftlich. Ausgehend von der Produktgestaltung, die eine Varianz auf Bauteilebene (vgl. Unterabschnitt 4.2.1) vorsieht, sind industrielle Fertigungstechnologien erforderlich, welche die Umsetzung dieser Varianz in individuelle Bauteile ermöglichen.

DIN 8580 [DIN 8580 1963] gliedert die Fertigungsverfahren folgendermaßen:

1. Urformen
2. Umformen
3. Trennen

4. Fügen
5. Beschichten
6. Stoffeigenschaften ändern

Bei ihrer industriellen Nutzung unterscheiden sich diese Fertigungsverfahren hinsichtlich der wechselseitigen Abhängigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück. Wie in Abschnitt 2.2.3 dargestellt wurde, müssen individualisierte Produkte hinsichtlich Eigenschaften wie Erscheinungsbild, Qualität oder Lebensdauer die gleichen Anforderungen erfüllen wie Serienprodukte. Dies macht die Verwendung von Materialien erforderlich, die aus der Serienproduktion bekannt sind. Für diejenigen Komponenten von mechatronischen Produkten, die als Umfänge mit Individualisierungspotenzial identifiziert wurden (beispielsweise Gehäuse- und Verkleidungsteile aus Kunststoff oder Metall), sind derzeit Verfahren mit enger Werkzeugbindung weit verbreitet. Eine enge Kopplung zum Werkzeug besteht bei der industriellen Anwendung von Urformverfahren. So sind bei den verbreiteten Verfahren zur Herstellung von Kunststoffteilen entsprechende Formen notwendig. Eine ebenfalls intensive Abhängigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück besteht bei der industriellen Anwendung von Umformverfahren (z. B. Werkzeuge beim Tief- und Streckziehen). Beim Einsatz von Trennverfahren in der industriellen Produktion ist sowohl eine enge als auch eine lose Werkzeugbindung zu beobachten: Während bei spanenden oder abtragenden Verfahren die Werkzeugbindung gering ist, kann sie bei den zerteilenden Verfahren vorhanden sein (z. B. Form beim Stanzen). Bei Verfahren aus den Bereichen Fügen, Beschichten oder Stoffeigenschaften ändern besteht kaum Werkzeugbindung.

Als Ergänzung zu den Technologien der Serienproduktion werden für eine wirtschaftliche industrielle Produktion von Komponenten aus den Werkstoffen Kunststoff und Metall in kleinsten Losgrößen innovative flexible Fertigungsverfahren entwickelt und weiterentwickelt. Diese lassen es zu, mit vergleichsweise geringem Aufwand Produkte von unterschiedlicher Geometrie herzustellen. Mit den Fertigungsverfahren aus dem Bereich „Rapid Prototyping“ werden in erster Linie Bauteile hergestellt, die eine frühzeitige Beurteilung der Bauteilgeometrie zulassen. Aufgrund der Werkstoffeigenschaften sind die so gefertigten Teile in der Regel aber nicht für einen Einsatz in Produkten für den Endverbraucher geeignet. Bauteile, die mit Fertigungstechnologien hergestellt werden, die dem Bereich „Rapid Manufacturing“ zugeordnet sind, eignen sich hinsichtlich Eigen-

schaften wie Lebensdauer oder Materialfestigkeit für eine Verwendung in Endprodukten. In der Regel erfüllen die so hergestellten Teile jedoch nicht die Anforderungen, die beispielsweise hinsichtlich Oberflächengüte an anspruchsvolle Produkte gestellt werden. Für eine industrielle Herstellung von individuellen Blechbauteilen werden ebenfalls Fertigungstechnologien erarbeitet. Mit geeigneten innovativen Ansätzen für die Blechumformung [HOFFMANN 2003; MEIER ET AL. 2004; SCHRAFT & SCHÄFER 2003; SIEGERT ET AL. 2000; WESTKÄMPER ET AL. 2003 B] wird es möglich, Blechbauteile mit individueller Geometrie bei hoher Oberflächengüte in kleinsten Stückzahlen vergleichsweise aufwandsarm zu produzieren.

Am Beispiel der Verfahrensgruppe „Umformen“ werden im Folgenden die Merkmale aufgelistet, welche auf eine grundsätzliche Eignung von Produktionsverfahren und -ressourcen für eine marktnahe Produktion individualisierter Produkte hinweisen (Abbildung 10). Neben einer Nutzung der Vorteile beispielsweise im Prototypenbau ermöglichen es Fertigungstechnologien für kleinste Losgrößen, kurzfristig auf nicht vorhersehbare Kundenanforderungen zu reagieren. Bei der Weiterentwicklung von Fertigungsverfahren, beispielsweise bei Umformprozessen von Blech, ist „neben einer hohen Formflexibilität [...] das Verringern der Werkzeugkosten – beispielsweise durch Wirkmedieneinsatz oder Rapid-Tooling – eine der wesentlichen Zielgrößen“ [MEIER ET AL. 2004].

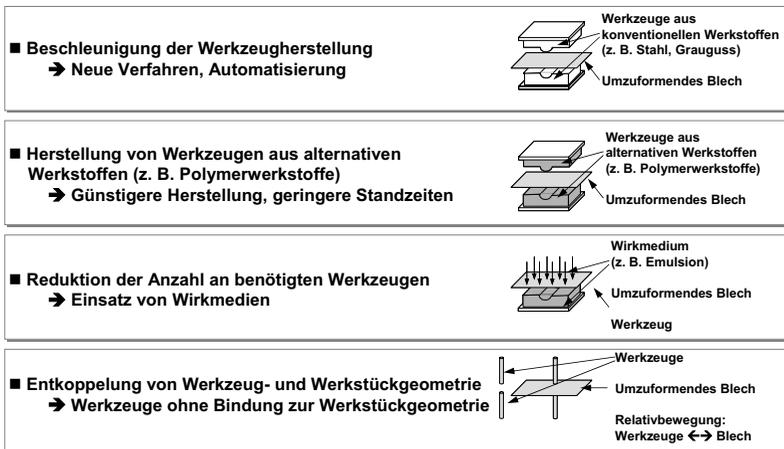


Abbildung 10: Ansätze zum Senken von Werkzeugkosten bei kleinen Losgrößen

Um die Werkzeugkosten für kleine Losgrößen zu senken, werden unterschiedliche Ansätze verfolgt (Abbildung 10):

■ Beschleunigung der Werkzeugherstellung

Durch neue Bearbeitungsverfahren, so genannte Rapid-Tooling-Verfahren, kann die Herstellungszeit der Werkzeuge gesenkt werden. Verbesserungspotenziale lassen sich hiermit beispielsweise durch Prozesskettenoptimierungen (direkte Übernahme von CAD-Information aus der Werkzeugkonstruktion, automatisierte Fertigungsverfahren) oder mit neuen Bearbeitungstechnologien wie „High-Speed-Cutting“ realisieren. Die Nutzung von Automatisierungslösungen in der Prozesskette sowie die Einführung verbesserter Fertigungsverfahren tragen zu einer Kosteneinsparung bei, indem einzelne Schritte bei den vorbereitenden Tätigkeiten (z. B. manuelles Einrichten oder Programmierung der Fertigungsmaschinen) erheblich verkürzt werden, oder indem bei der Materialbearbeitung die Anzahl der notwendigen Arbeitsgänge reduziert werden kann.

■ Herstellung von Werkzeugen aus alternativen Werkstoffen

Aufgrund der Anforderungen hinsichtlich der zu erzielenden Bauteilqualität und der geforderten Standzeiten sind Werkzeuge für die Blechumformung typischerweise als Stahl- oder Graugusswerkzeuge aufgebaut. Bedingt durch die entsprechend kosten- und zeitintensive Fertigung sind sie für eine wirtschaftliche Kleinserienproduktion nicht geeignet. Während Stahl- oder Graugusswerkzeuge *„aufgrund der im Vergleich beträchtlichen Herstellungskosten ihren wirtschaftlichen Einsatz bei der Herstellung von Großserien“* [DEILER 2001] finden, eignen sich im Bereich der Kleinserienfertigung kostengünstigere Werkzeuge aus Polymerwerkstoffen. Einer einfacheren und kostengünstigeren Werkzeugherstellung steht eine kürzere Werkzeugstandzeit gegenüber. Diese wirkt sich im Bereich der Kleinserienfertigung nicht negativ aus.

■ Reduktion der Anzahl an benötigten Werkzeugen

Ein weiterer Ansatz zur Senkung des Aufwands für die Werkzeuge bei Kleinserien ist die Verwendung von Wirkmedien. Während bei konventionellen Umformverfahren wie Tiefziehen oder Streckziehen ein Stempel und eine Matrize benötigt werden, kann bei der Verwendung von Wirkmedien (beispielsweise bei Verfahren der hydromechanischen Blechumformung) die Anzahl der formgebenden Werkzeuge in der Regel halbiert werden. Die benötigten Umformkräfte wer-

den hierbei durch Wirkmedien wie Wasser oder Emulsionen zur Verfügung gestellt. *„Für Produkte geringer Gesamtstückzahl ergibt sich mit der Hydroblechumformung bei optimierter Werkzeug- und Pressentechnik die Möglichkeit, die produktspezifischen Betriebsmittelkosten in beachtlichem Umfang zu senken“* [SIEGERT ET AL. 2000].

■ Entkoppelung von Werkzeug- und Werkstückgeometrie

Bei den so genannten „inkrementellen Blechumformverfahren“ wird die gewünschte finale Bauteilform durch eine Vielzahl an lokal begrenzten kleinen Umformungen erreicht. Die Verfahren der inkrementellen Blechumformung kommen überwiegend in handwerklichen Prozessen zum Einsatz (z. B. Dengeln von Blechen für die Restaurierung von Oldtimer-Fahrzeugen). Somit sind sie in einem hohen Maße abhängig von den Fähigkeiten und der Erfahrung der durchführenden Person und mit hohen Fertigungskosten verbunden. Es werden Strategien und Techniken entwickelt, um inkrementelle Blechumformverfahren durch Rechneinsatz zu unterstützen und zu automatisieren. Somit sollen sie für die Herstellung von Bauteilen im industriellen Maßstab qualifiziert werden. Mit dem Konzept der inkrementellen Blechumformung können die Nachteile konventioneller Blechumformverfahren wie fehlende Flexibilität und hohe Investitionskosten [SCHRAFT & SCHÄFER 2003] umgangen werden (Abbildung 11).

Die zahlreichen lokalen Formänderungen werden durch Werkzeuge erzeugt, deren Geometrie nicht auf die Werkstücke abgebildet wird. Der Ansatz basiert somit darauf, *„dass keine oder nur eine geringe Werkzeugformbindung besteht und die benötigten Umformkräfte sehr viel geringer sind als bei den meisten konventionellen Umformverfahren“* [WESTKÄMPER ET AL. 2003 B; MEIER ET AL. 2004]. Somit entfallen im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren wie Tiefziehen und Streckziehen die *„hohen Investitionskosten für die Werkzeugmaschinen, die aufgrund der großen auftretenden Umformkräfte sehr robust aufgebaut sind“* [WESTKÄMPER ET AL. 2003 B; MEIER ET AL. 2004]. Im Vergleich zu konventionellen Pressen ist bei der Inbetriebnahme von Maschinen für die inkrementelle Blechumformung mit geringeren Anforderungen bei den technischen Randbedingungen (Fundament, Bodenlast etc.) zu rechnen. Bei konventionellen Verfahren ist ggf. eine Aufteilung der Umformoperationen in mehrere Züge vorzusehen [HIRT 2004], was zu mangelnder Skalierbarkeit der technischen Anlagen führt. Damit unter der Verwendung von konventionellen Umformtechnologien das Ausgangsmaterial

zu den gewünschten Teilen verarbeitet werden kann, ist also in der Regel ein hoher technischer und finanzieller Aufwand hinsichtlich der benötigten Ressourcen wie beispielsweise Werkzeuge oder Produktionsanlagen notwendig. Geringere Stückzahlen führen hier nicht zwangsläufig zu geringeren Anlagenkosten. Das hat zur Folge, dass mit den Ressourcen eine hohe Anzahl an Teilen herzustellen ist, um trotz der erheblichen Fixkosten die Fertigungskosten pro Teil in einem wirtschaftlich sinnvollen Rahmen zu halten. Eine Aufteilung der gesamten Stückzahl auf mehrere Produktionsstätten und damit eine räumliche Dezentralisierung (Verteilbarkeit) sind bei konventionellen Prozessen daher in der Regel nicht wirtschaftlich umsetzbar.

Konventionelle Blechumformverfahren

Inkrementelle Blechumformverfahren



Bilder: [Hirt 2004]

- Hohe Investitionskosten
- Fehlende Flexibilität
- Aufgrund der großen auftretenden Umformkräfte sehr robust aufgebaut

- Keine oder nur eine geringe Werkzeugbindung
- Benötigte Umformkräfte sehr viel geringer als bei den konventionellen Verfahren

[Westkämper et al. 2003 B]

- Hohe Werkzeugkosten (Stempel, Matrize,...)
- Evt. Aufteilung in mehrere Züge
- Hoher Aufwand für das Einfahren der Werkzeuge
- Hohe Maschinenkosten (Pressen, Transfersysteme)

- Minimale Werkzeugkosten
- Schnelle Umsetzung von der Zeichnung zum Bauteil
- Kurze Fertigungszeiten weniger wichtig

[Hirt 2004]

- Meist verkettete Anlagen
- Hoher Anlageninvest
- Hohe technische Anforderungen (Fundament etc.)

- Einzelne Maschinen (geringe Kapazität, einfache Skalierbarkeit)
- Vergleichsweise geringer Einzelinvest
- Vergleichsweise einfache Inbetriebnahme

Abbildung 11: Eigenschaften von industriellen Verfahren hinsichtlich der Produktindividualisierung am Beispiel des Umformens

Fazit

Von den betrachteten Ansätzen zur Reduktion von Werkzeugkosten für die Kleinserien- und Einzelfertigung erscheint also beim Beispiel der Umformverfahren die Klasse der inkrementellen Blechumformverfahren für eine industrielle Produktion von individuellen Produkten am besten geeignet zu sein, da hier der Zeit- und Kostenaufwand für die Erstellung bauteilspezifischer Werkzeuge entfällt. Im Vergleich zu konventionellen Verfahren sind die Umformkräfte wesentlich geringer. Dies führt zu einfacheren technischen Anforderungen hinsichtlich Anlagenaufbau und Fundament. Bei konventionellen Anlagen sind ggf. mehrere Züge notwendig [HIRT 2004], bei inkrementeller Umformung können die lokalen Formänderungen an einer Maschine umgesetzt werden. Im Vergleich zu konventionellen verketteten Tiefziehenanlagen ist es wesentlich leichter, einzelne Maschinen der inkrementellen Blechumformung an verschiedenen Standorten einzusetzen (*Verteilbarkeit*) und an jedem Standort vergleichsweise geringe Stückzahlen (also einen Teil der Gesamtstückzahl einer konventionellen Anlage) wirtschaftlich herzustellen. Die Einzelinvestition für eine Maschine der inkrementellen Blechumformung liegt wesentlich niedriger als für eine verkettete Transferstraße. Somit sind sowohl die wirtschaftlich herstellbaren Stückzahlen als auch die benötigten Investitionen und das damit verbundene Investitionsrisiko im Vergleich wesentlich einfacher skalierbar (*Skalierbarkeit*).

Aus der Betrachtung des Standes von Technik und Forschung lassen sich Kriterien für Produktionsprozesse und -ressourcen ableiten, die für einen Einsatz bei der marktnahen Produktion individualisierter Produkte erfüllt sein müssen. Neben Blechumformverfahren werden für andere Materialien wie Kunststoff ebenfalls Technologien entwickelt, die eine Entkopplung von Werkzeug und Produkt anstreben. Bei Kunststoff ist hier der generative Aufbau von Bauteilen zu nennen. Dabei wird keine Gussform benötigt. In Kapitel 5 wird ein Kriterienkatalog zur Überprüfung dieser Kriterien vorgestellt, welcher auch für andere Untergruppen von Fertigungsverfahren, beispielsweise das Urformen, anwendbar ist.

Abbildung 12 (vgl. [PILLER 2001; PINE 1993]) zeigt den Zusammenhang zwischen dem Vorbereitungsaufwand für einen Wechsel des Produktionsauftrags und der wirtschaftlich optimalen Losgröße auf.

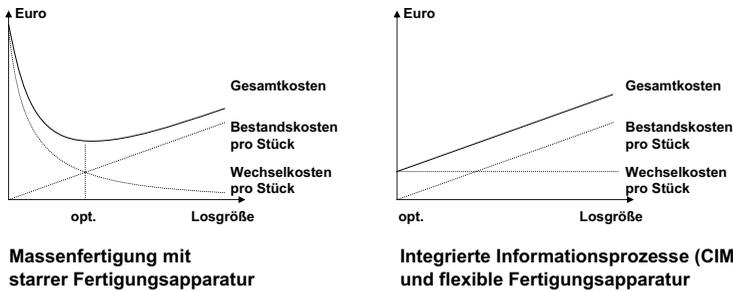


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen auftragsspezifischem Vorbereitungs-
aufwand und optimaler Losgröße (nach [PILLER 2003])

Ist die Vorbereitung eines Produktionsauftrags mit hohem Aufwand verbunden, so ist eine Mindestmenge an produzierten Einheiten notwendig, auf welche die resultierenden Kosten umzulegen sind. Erst bei sehr hohen Mengen wirkt sich das gebundene Kapital für die bearbeiteten Teile negativ aus. Ist der Vorbereitungsaufwand für einen Produktionsauftrag sehr gering, beispielsweise wenn unterschiedliche Fertigungsaufträge keine Anpassungen am Produktionssystem erfordern, so bewegt sich die optimale Losgröße gegen eins. Dies ist auch der Fall, wenn der Vorbereitungsaufwand nicht pro Fertigungsauftrag, sondern pro Werkstück verursacht werden.

4.3 Fertigungskosten

4.3.1 Allgemeines

Während in den vorangegangenen Abschnitten die prinzipielle Eignung von Fertigungstechnologien und -ressourcen für die Erfüllung der Zielsetzung einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte betrachtet wurde, soll in den folgenden Abschnitten näher auf die Fertigungskosten eingegangen werden. Ein wesentlicher Einflussfaktor bei der Entscheidung für oder gegen die Herstellung bestimmter Produktgruppen innerhalb eines Industriebetriebes ist die zu erwartende Stückzahl. Diesbezüglich sind zunächst Investitionen für Produktionsressourcen und für den Aufbau von Wissen zur Beherrschung moderner Fertigungstechnologien als Fixkosten zu berücksichtigen. Die Kosten hierfür sind kombiniert mit variablen Kosten, beispielsweise mit den Lohn- oder Materialkosten. So ändern sich insgesamt betrachtet die Fertigungskosten pro Stück in Abhängigkeit von der Stückzahl. Bei der stückzahlabhängigen Kostenentwicklung

soll im folgenden zwischen Aspekten der Kosten- und Leistungsrechnung sowie Einflüssen bei der Kostenentwicklung, die auf dem technologischen Fortschritt und damit auf der besseren Beherrschung effizienter Produktionsprozessen basieren, unterschieden werden. In der vorliegenden Arbeit steht die Sichtweise der operativen Kosten- und Leistungsrechnung, beispielsweise für Investitionsentscheidungen, im Hintergrund. Dagegen wird die Kostenentwicklung in Abhängigkeit vom technologischen Fortschritt genauer betrachtet.

Die folgenden Abschnitte sollen diese Abgrenzung weiter detaillieren. Zu diesem Zweck wird die Entwicklung der Herstellungskosten pro Stück in Abhängigkeit von der produzierten Stückzahl näher spezifiziert.

4.3.2 Kosten- und Leistungsrechnung

In der industriellen Praxis werden Systeme der Kosten- und Leistungsrechnung in einer Vielzahl an Ausprägungen eingesetzt. In der einschlägigen Literatur (siehe bspw. Auflistung in [WEBER 2004]) werden folgende Zwecke der Kostenrechnung genannt:

- Planen,
- Dokumentieren,
- Abbilden,
- Motivieren,
- Kontrollieren sowie
- Steuern.

Die Leistungserstellung sowie die zugehörigen Kosten innerhalb einer betrachteten Zeitspanne werden so zur Entscheidungsunterstützung erfasst und abgebildet.

Mit Hilfe der Darstellungsform des Gewinnschwellendiagramms (Abbildung 13) soll derjenige Grundgedanke von Methoden der Kosten- und Leistungsrechnung veranschaulicht werden, welcher für die Spezifikation des Betrachtungsfokusses dieser Arbeit ausschlaggebend ist.

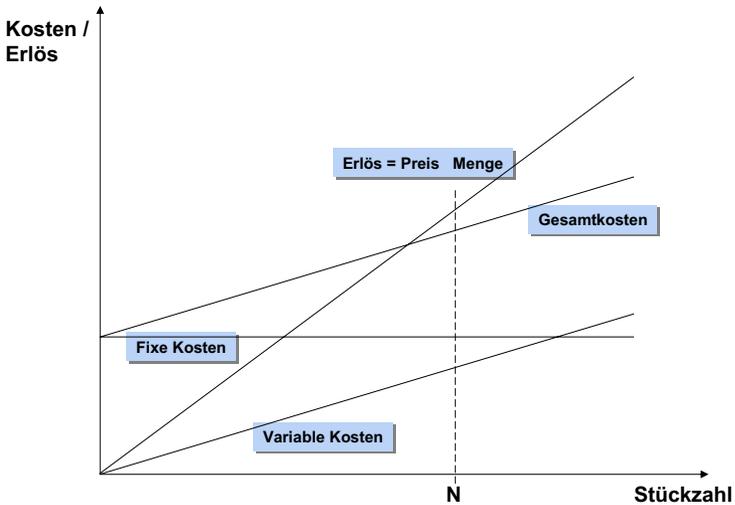


Abbildung 13: Gewinnschwellendiagramm

(nach [WARNECKE ET AL. 1978; WARNECKE ET AL. 1996])

Die Gesamtkosten setzen sich aus fixen und variablen Kosten zusammen. Die variablen Kosten steigen linear mit der Stückzahl an. Damit ergibt sich ein linearer Verlauf für die Gesamtkosten. Für eine beliebige Gesamtstückzahl N an hergestellten Produkten lassen sich die Kosten pro Stück gemäß

$$K_{St} = \frac{K_{Ges}}{N} = \frac{K_{var} + K_{fix}}{N} = K_{var1} + \frac{K_{fix}}{N} \quad (1)$$

berechnen mit

- N , betrachtete Gesamtstückzahl bei konstanten variablen Kosten
- K_{St} , Kosten pro Stück,
- K_{Ges} , Gesamtkosten für die betrachtete Gesamtstückzahl N ,
- K_{var} , gesamte variable Kosten für die betrachtete Gesamtstückzahl N ,
- K_{fix} , Fixkosten und
- K_{var1} , variable Kosten pro Stück.

Formel (1) lässt erkennen, dass bei sehr hohen Stückzahlen N der Fixkostenanteil an den Fertigungskosten pro Stück in den Hintergrund tritt. In diesem Fall kommt der Realisierung von geringen variablen Kosten pro Stück, beispielsweise durch kurze Fertigungszeiten, eine erhebliche Bedeutung zu. Eine verbesserte Auslastung der Produktionsressourcen (z. B. Mehrschichtbetrieb) führt dazu, dass innerhalb eines gleichen betrachteten Zeitraums mehr Produkte hergestellt werden. Unter der Voraussetzung, dass die hergestellten Produkte auf dem Markt absetzbar sind, wird schneller die Gewinnzone erreicht. Im gleichen betrachteten Zeitraum werden so die Kosten pro Stück gesenkt. Dieser Effekt kann durch Einflüsse wie z. B. einen günstigeren Preis von Zukaufteilen bei höheren Abnahmemengen unterstützt werden.

Diese Betrachtung ist bei einer längerfristigen Sichtweise dahingehend anzupassen, dass die Einführung von neuen Produktgenerationen oder von verbesserten Produktionstechnologien Kosteneinsparungen ermöglicht, die auf den technischen Fortschritt zurückzuführen sind. So können modernere Ressourcen im Verhältnis zu ihrer Leistungsfähigkeit geringere Investitionen erfordern, effizientere Fertigungsverfahren erlauben eine günstigere Herstellung. Die Entwicklung der Kosten für neu eingeführte innovative Fertigungsverfahren wird in den folgenden Abschnitten dargelegt.

4.3.3 Kostenentwicklung neuer Technologien

Mit den Fertigungsverfahren, die für die industrielle Fertigung von individuellen Produktkomponenten als geeignet identifiziert wurden, können die Kosten für die Produktion mit „Losgröße eins“ gegenüber der Verwendung konventioneller Verfahren gesenkt werden. Die Herstellkosten für individuelle Teile liegen derzeit auch bei Verwendung innovativer Fertigungsverfahren noch deutlich über den Kosten einer variantenreichen Serienproduktion. Um die Fertigungskosten absenken zu können, ist es notwendig, die Fertigungsverfahren für größere Stückzahlen anzuwenden. Es ist ein im Bereich der strategischen Unternehmens- und Produktionsplanung etabliertes Gesetz, *„dass der Preis eines neuen Produktes nach der ersten Einführungsphase rückläufig ist, sobald das Produkt in größeren Mengen produziert und auch einem breiten Käuferkreis zugänglich wird“* [HENDERSON 1984]. Derartige Effekte wurden mit umfangreichen Studien systematisch untersucht und es wurde eine übereinstimmende Entwicklung festgestellt [HENDERSON 1984]. Der beobachtete Preisrückgang steht im Zusammenhang mit

Kosteneinspareffekten in der Produktion, bedingt durch zunehmende Übung und Erfahrung, und ist allgemein unter Bezeichnungen wie „Lernkurve“ oder „Erfahrungskurve“ bekannt.

Charakteristisch für den Verlauf von Lern- und Erfahrungskurven ist der Zusammenhang zwischen dem Aufwand für die Herstellung von Produkten in Abhängigkeit von der insgesamt produzierten Menge des Produkts. Die empirisch etablierten Gesetze lassen erkennen, dass der Herstelleraufwand bei jeder Verdoppelung der kumulierten Stückzahl um einen annähernd konstanten Prozentsatz abnimmt [HENDERSON 1984]. In der Literatur wird zwischen den Begriffen „Lerneffekte“ bzw. „Erfahrungseffekte“ in der Produktion häufig keine eindeutige Trennung vorgenommen, die Begriffe werden meist synonym verwendet.

In der vorliegenden Arbeit soll die nachfolgend beschriebene genaue Unterscheidung zwischen „Lerneffekten“ und „Erfahrungseffekten“ durchgehend angewandt werden.

4.3.4 Lerneffekte

Traditionell erfassen *Lernkurvenmodelle* die Zeiteinsparung pro Stück, wenn sich die kumulierte Ausbringungsmenge verdoppelt. Die erreichte Einsparung von Zeit je produzierter Einheit wirkt sich günstig auf die Produktionskosten aus. Da die reine Produktionszeit nur einen Teil aller Produktionskosten ausmacht, führt die Zeitersparnis lediglich zu einer anteiligen Einsparung bezogen auf die Gesamtkosten [LETMATHE 2002].

Fazit

Lerneffekte basieren also zum größten Teil auf Übungseffekten der ausführenden Personen und sind daher unabhängig von der Tätigkeit sowie von der Art des Produktionsbetriebes (Handwerks- oder Industriebetrieb) festzustellen. Aufgrund der Bindung von Lerneffekten an die ausführenden Personen können Lerneffekte nicht in einem nennenswerten Umfang weitergegeben werden.

4.3.5 Erfahrungseffekte

Die Betrachtung von so genannten „Erfahrungseffekten“ berücksichtigt nicht allein die Reduktion von Fertigungszeiten, sondern schließt ein ganzes Zielbündel ein. Zu diesem zählen die Reduktion von Materialverschwendung, die Reduktion von unerwünschten Nebenprodukten, das Erreichen von Qualitätszielen, die Re-

duktion von Rüstzeiten, die Elimination von Produktionsstörungen etc. [LETMATHE 2002]. Damit lässt sich die Betrachtung der reinen Lerneffekte modifizieren und um weitere Potenziale für Kosteneinsparungen erweitern.

Fazit

Die systematische Betrachtung von Erfahrungseffekten umfasst ganze Bereiche von Produktionssystemen. Prozessverbesserungen, die bei steigender kumulierter Stückzahl erreicht werden, können demnach auf andere, vergleichbar aufgebaute Produktionssysteme übertragen werden. Voraussetzungen dafür sind vergleichbare Bedingungen sowie eine systematische Dokumentation und Weitergabe der erarbeiteten Optimierungsmaßnahmen.

4.3.6 Mathematische Beschreibung von Lern- und Erfahrungseffekten

Bei allen Auswertungen ist ein gemeinsamer charakteristischer Verlauf der Lern- bzw. Erfahrungskurven feststellbar. Die empirischen Auswertungen zeigen, dass nach Einführung neuer Produkte oder neuer Produktionstechnologien mit zunehmender kumulierter Stückzahl zunächst der „Aufwand je Einheit“ stark abnimmt und diese Aufwandsreduktion sich verlangsamt [HENDERSON 1984; PANSKUS 1988; LETMATHE 2002]. *„Am Anfang werden noch viele Fehler gemacht. Während der weiteren Lernphase [nimmt die Zahl der] [...] Fehler ab, dann folgt ein so genanntes Lernplateau“* (nach [HEINEN 1991]).

Bei der Auswertung der empirischen Untersuchungen ergeben sich in einem linear geteilten Koordinatensystem grafische Verläufe, wie in Abbildung 14 (nach [HENDERSON 1984]) dargestellt.

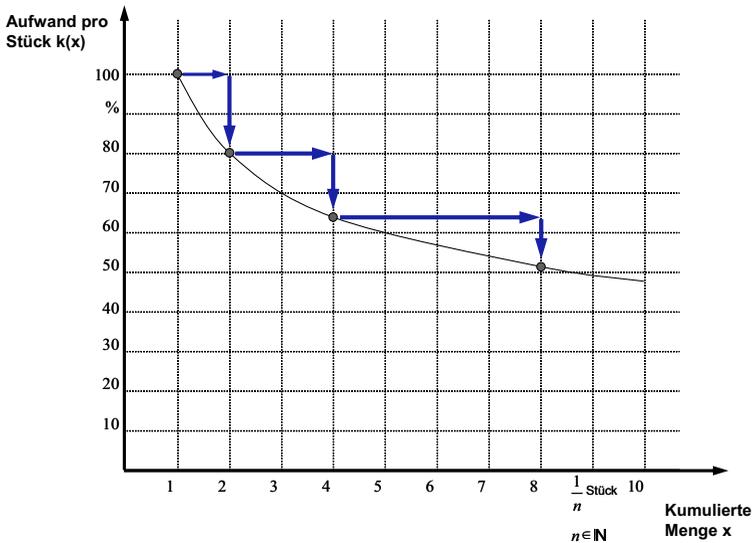


Abbildung 14: Erfahrungskurve im linear geteilten Koordinatensystem

Dieser Verlauf lässt sich mit der Formel

$$k(x) = a \cdot x^{-b}, \quad x \geq 1; b > 1 \quad (2)$$

beschreiben (nach [DYCKHOFF 1998]), wobei die einzelnen Variablen folgende Bedeutung haben:

- $k(x)$, Kosten pro Stück bei veränderlichen variablen Kosten,
- a , Aufwand für die erste Einheit,
- x , kumulierte Ausbringungsmenge und
- b , Wachstumsfaktor, dessen Höhe von der Lernrate bei ansteigender kumulierter Ausbringungsmenge abhängt.

In Abbildung 14 ist beispielhaft ein Kurvenverlauf für den Fall dargestellt, dass mit einer Verdoppelung der kumulierten Ausbringungsmenge eine Reduktion des Aufwandes auf 80 Prozent des vorherigen Wertes erzielt wird. Der Wachstumsfaktor b lässt sich in diesem Fall mit dem ungefähren Wert $b = 0,32$ errechnen.

Um derartige Kurven leichter handhaben und auswerten zu können, hat sich eine andere Darstellungsform durchgesetzt. Durch die mathematische Umformung einer Logarithmierung auf beiden Seiten der Gleichung ergibt sich die Formel

$$\log k(x) = \log a - b * \log x \quad (3)$$

Abbildung 15 zeigt die entsprechende grafische Darstellung in einem doppelt logarithmischen Koordinatensystem.

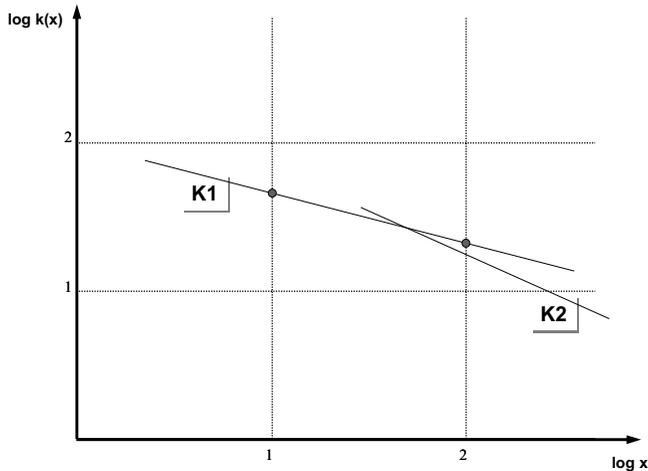


Abbildung 15: Erfahrungskurve in doppelt logarithmischer Darstellung

Der Verlauf der Geraden kann sich an diskreten Punkten ändern, etwa wenn ein technologischer Quantensprung neue Produktionsmöglichkeiten erschließt. Als Beispiel hierfür kann der Übergang von mechanischen Dreh- und Fräsmaschinen zu computergesteuerten Bearbeitungszentren genannt werden. Bei der Neueinführung derartiger produktionstechnischer Innovationen kann der Aufwand zunächst höher als bei den etablierten Verfahren sein. Mit zunehmender Technologiebeherrschung sinkt der Aufwand und bewegt sich in Bereiche, die mit einer weiteren Optimierung der etablierten Technologien (Kurve K1 in Abbildung 15) kaum noch zu erreichen gewesen wären. Häufig führt ein Technologiesprung auch zur Änderung des Wachstumsfaktors, da mit neuen Technologien eine schnellere Effizienzsteigerung in der Produktion möglich wird. In der grafischen Darstellung wirkt sich ein veränderter Wachstumsfaktor dahingehend aus, dass der Graf eine andere Steigung aufweist (Kurve K2 in Abbildung 15).

Fazit

Die durch die Empirie aufgezeigten Effekte von Lern- und Erfahrungskurve sowie deren mathematische Abbildung zeigen also deutlich, dass gerade bei wenig bekannten und damit wenig ausgereizten Prozessen die höchsten Optimierungseffekte erzielt werden. Die genannten Zusammenhänge verdeutlichen die hohen Kostensenkungspotenziale bei neuen Technologien insbesondere bei deren Neueinführung. Kostenreduktionen können im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses erreicht werden [NOFEN ET AL. 2003 B]. Marktnahe Produktion hat die Aufteilung der insgesamt produzierten Stückzahl einer Produktart auf verschiedene Standorte zur Folge. Daher ist es von großer Bedeutung, dass Erfahrungskurven bei einer sukzessiven Markterschließung nicht an jedem Standort erneut durchlaufen werden. Dies zeigt, dass ein systematischer Rückfluss von Erfahrungen aus der Produktion in die Planung notwendig ist, ebenso wie die Umsetzung von Prozessen einer systematischen Erfahrungsdokumentation, da sich Optimierungen im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) häufig *„im Ermessensspielraum der betroffenen Mitarbeiter befinden und von ihnen selbst durchgeführt werden können“* [NOFEN ET AL. 2003 B]. Methoden des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses sind daher um eine systematische Dokumentation zu erweitern. Dies unterstützt die Nutzung von Erfahrungseffekten bezogen auf die Gesamtstückzahl an unterschiedlichen Standorten.

4.3.7 Einführungsstrategien für Innovation

Die im vorangegangenen Abschnitt 4.3.6 aufgezeigten Zusammenhänge zwischen kumulierter Stückzahl und der Entwicklung der Herstellkosten spiegeln sich in den prinzipiell vorhandenen Freiräumen bei der Gestaltung der Verkaufspreise wider. Hiervon ist als Folge auch der Absatzverlauf auf den Märkten abhängig. Produkte, deren Funktionalität oder Herstellungstechnologie sich durch einen hohen Innovationsgrad auszeichnen, werden zunächst in geringer Stückzahl zu vergleichsweise hohen Preisen angeboten. Ein Markteintritt bereits in dieser frühen Phase von Produkt- und Prozesslebenszyklus ist von strategischer Bedeutung, um entsprechende Erfahrung zu sammeln: *„In den frühen Lebensphasen eines Wachstums-Produktes kostet der Erwerb von Marktanteilen weniger als in einem späteren Zeitpunkt“* [HENDERSON 1984]. Diejenigen Unternehmen, welche technische Innovationen als so genannter „Leader“ einführen, können mit Hilfe eines Wissensaufbaus basierend auf Lern- und Erfahrungseffekten

fekten am Marktwachstum von innovativen Produkten teilhaben und so langfristig einen Wettbewerbsvorteil erlangen. Als Beispielprodukt kann das Antiblockiersystem (ABS) angeführt werden. Es wurde zunächst „*als teure Sonderausstattung erstmals eingesetzt und steht nach nunmehr 25 Jahren an der Schwelle zum Commodity-Erzeugnis*“ [OST 2004] (Commodity-Erzeugnis: Grunderzeugnis, Massenware).

Allein die Verfügbarkeit von moderner Produktionstechnologie ist für einen erfolgreichen Markteintritt und eine einträgliche Marktbearbeitung nicht ausreichend. Es sind Erfahrungen aus der Produktion sowie Prozesswissen notwendig, um beispielsweise das Potenzial innovativer Produktionsressourcen auszuschöpfen (Abbildung 16). Einflussfaktoren auf das Erzielen von Lern- und Erfahrungskurveneffekten sind [KALUZA 1993]:

- Anzahl bereits erfolgter Durchführungen (in früheren Stadien sind höhere Lern- und Erfahrungseffekte erzielbar) und
- Komplexität des Leistungserstellungsprozesses (je komplexer oder variabler der Prozess, desto höher können Lern- und Erfahrungseffekte ausfallen).

Um neue Technologien zu beherrschen und sie so am Grad der bestmöglichen Effizienz zu nutzen, ist daher eine gewisse „Reife“ im Sinne der Anzahl bereits erfolgter Durchführungen notwendig (Abbildung 16).

Fazit

Wie aktuelle Beispiele aus der Industrie sowie Studien zeigen, ist es also gerade bei Produkten, die sich durch Innovation auszeichnen, wichtig, über entsprechende Kompetenzen im Unternehmen zu verfügen [KINKEL & LAY 2003; KINKEL 2004]. Vielfach sind die Beherrschung bestimmter Technologien und eine Bündelung von technologischem Wissen die Voraussetzungen, um den Schritt zur Einführung neuer Technologien vollziehen zu können.

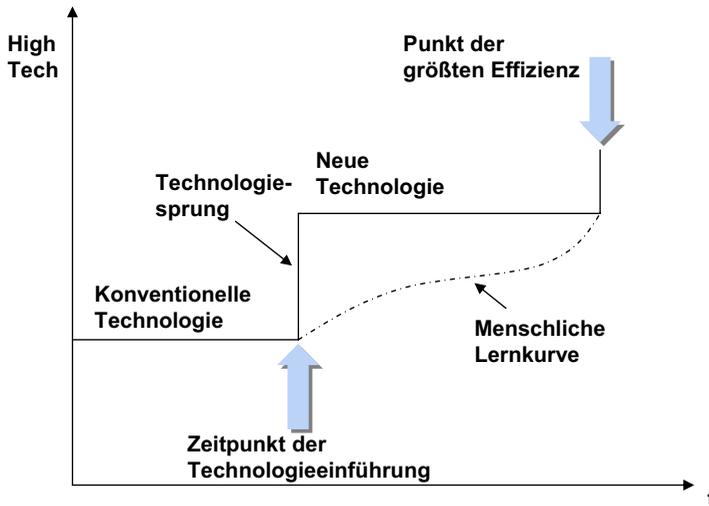


Abbildung 16: Effizienz neuer Technologien in Abhängigkeit von deren Beherrschung [PANSKUS 1988]

4.3.8 Standardisierung

Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Kostensenkungseffekte durch Erfahrung lassen sich nur realisieren, wenn durch eine wiederholte Prozessdurchführung schrittweise Wissen aufgebaut wird. Bei einer industriellen Produktion individualisierter Produkte erfordert dies, dass trotz unterschiedlicher Ausprägungen der Produkte vergleichbare Prozesse in Planung und Produktion durchlaufen werden. Ein Prinzip, um die Vergleichbarkeit sicher zu stellen und die Nutzung von Wiederholungseffekten zu optimieren, ist die Standardisierung. Sie ist definiert als Vereinheitlichung von Merkmalen oder Verfahrensweisen [LET-MATHE 2002] und kann damit sowohl auf Gegenstände als auch auf Verfahren angewendet werden.

Fazit

Die Standardisierung von Prozessen und Ressourcen in der Produktion trägt also wesentlich zum Erzielen von Lern- und Erfahrungseffekten bei. Für den in dieser Arbeit fokussierten Anwendungsfall einer räumlich verteilten Produktion ist eine

standortübergreifende Standardisierung eine Voraussetzung, um erarbeitete Verbesserungen zwischen Standorten weitergeben zu können. *„On top of all that globalisation changes the way how companies operate and creates new challenges like working in geographically distributed teams, transferring proven processes from one plant to another, standardising processes and resources“* [LINNER & GEYER 2003] *(In erster Linie ändert die Globalisierung die Arbeitsweise von Unternehmen und führt zu neuen Herausforderungen wie der Arbeit in geografisch verteilten Gruppen, der Weitergabe von bewährten Prozessen zwischen Fabriken, der Standardisierung von Prozessen und Ressourcen).*

4.4 Produktionsstrukturen

4.4.1 Vorgehen bei der Strukturierung und Planung von Fabriken

Aufgrund der Komplexität von Fabrikplanungsprozessen ist eine Einteilung in unterschiedliche Teilaufgaben erforderlich. Bei der Stufung vom Groben zum Feinen sind eine klare Trennung der einzelnen Planungsstufen (vgl. Abschnitt 4.7.2) wie

- Zielplanung,
- Vorarbeiten,
- Grobplanung,
- Feinplanung,
- Ausführungsplanung und
- Ausführung

oder die Definition einer eindeutigen zeitlichen Abfolge nicht umsetzbar. *„Vielmehr handelt es sich um fließende Übergänge mit einem Ineinandergreifen der einzelnen Stufen und zahlreichen Rückkoppelungen im Planungsablauf“* [KETTNER ET AL. 1984].

Derartig iterativ gestaltete Planungsvorgehensweisen sind in erster Linie bei Fabriken mit langen Planungszyklen zielführend: Bei der Einführung einer neuen Produktgeneration sind aufgrund der zwischenzeitlich stark veränderten Produktionstechnologien in der Regel von Grund auf neue Produktionsprozesse und -ressourcen erforderlich.

Fazit

Mit den Marktanforderungen nach zunehmend spezifischen Produkten und der dadurch deutlich erhöhten Frequenz an Produktneuanläufen und Planungsvorhaben ändern sich also auch die Anforderungen an das Vorgehen in der Fabrikplanung. Neuere Konzepte der Fabrikplanung schlagen daher spezifische Vorgehensweisen vor, in denen sich übereinstimmend der Grundgedanke der Modularität wieder findet [EVERSHEIM & NEUHAUSEN 2001; MATT 2002; NOFEN ET AL. 2003 A; REINHART ET AL. 2000 A; SCHUH ET AL. 2003 B]. Mit dem Modularisierungsgedanken sowie Einbindung von Plattform-, Baukasten- und Modulkonzepten in die Bearbeitung von Fabrikplanungsaufgaben wird es ermöglicht, auf permanente Veränderungen vergleichsweise schnell und kostengünstig zu reagieren [WIRTH ET AL. 2003]. Der Grundgedanke der Modularisierung lässt sich prinzipiell auf unterschiedlichen Unternehmensebenen anwenden. Eine differenzierte Betrachtung des Einsatzes von modularen Gestaltungsprinzipien bei der Fabrikplanung soll daher in Abschnitt 4.4.2 vorgestellt werden.

4.4.2 Modularisierung als Grundgedanke bei der Produktionsstrukturierung

Ein Merkmal von Modularisierung ist die Aufteilung eines Gesamtsystems in mehrere in sich selbst abgeschlossene, autonome Teilsysteme, welche schnell und einfach austauschbar sind. Über ihre Schnittstellen lassen sich die einzelnen Teilsysteme (Module) mit ihrer Umgebung verbinden. Bei produzierenden Unternehmen werden Prinzipien der Modularisierung auf verschiedenen Ebenen von den Produkten, Produktionsprozessen und Produktionssystemen über die Fabriken bis hin zu den gesamten Unternehmen entwickelt [PICOT ET AL. 1998].

■ Produktionsprozess- und Produktionssystemebene

Auf der Prozess- und Produktionssystemebene soll es beispielsweise ein Aufbau von Werkzeugmaschinen nach Modulbauweise zulassen, einzelne Maschinenbauteile auszutauschen, so dass sich neue Produktionstechnologien an die vorhandenen anbinden lassen.

■ Fabrikebene

Mit einem modularen Aufbau von Fabriken wird deren Fähigkeit erhöht, sich an Anforderungen anzupassen, die durch Veränderungstreiber verursacht werden. Die im vorangegangenen Abschnitt 4.4.1 genannten Quellen identifizieren die

Begrenzung von Anpassungstätigkeiten als einen der wichtigsten Vorteile von modular strukturierten Produktionsstätten gegenüber Fabriken, deren Ressourcen über vielfältige wechselseitige Abhängigkeiten in den Produktionsabläufen miteinander verknüpft sind. Werden aufgrund einwirkender Veränderungstreiber Anpassungen in der Fabrik notwendig, so können bei modularem Fabrikaufbau die betroffenen Bereiche identifiziert werden. Innerhalb definierter Schnittstellen kann eine Anpassung stattfinden, ohne weitreichende Wechselwirkungen zur Folge zu haben.

■ Unternehmensebene

Auf Unternehmensebene bei der *Produktionsorganisation* wurden bereits in den 1980er Jahren Konzepte eines modularen Aufbaus der Produktion erstellt [WILDEMANN 1988]. Zielsetzungen sind in erster Linie die Reduktion von Durchlaufzeiten und Beständen in der Fertigung sowie eine Erhöhung der Flexibilität. Eine gesteigerte Transparenz in der Produktion sowie eine Effizienzsteigerung mit Hilfe von schlanken Prozessen stehen hier gegenüber der Zielsetzung einer leicht anpassbaren Produktionsstruktur im Vordergrund. Die Unternehmensorganisation basiert auf integrierten, kundenorientierten Prozessen in relativ kleinen überschaubaren Einheiten, die sich durch dezentrale Entscheidungskompetenz und Ergebnisverantwortung auszeichnen [WILDEMANN 1988].

Aufgrund der vorwiegend produktionsbezogenen Betrachtungsweise der vorliegenden Arbeit sind die Beispiele auf *Fabrikebene* näher zu betrachten.

Fazit

Auf der Basis von modularen Produktionsstrukturen kann also eine Strukturierung und Unterteilung von Abhängigkeiten erreicht werden. Produktionsstrukturen können so übersichtlicher gestaltet werden. Gleichzeitig wird es erleichtert, auf veränderliche Anforderungen zu reagieren und Anpassungen in der Produktion vorzunehmen, ohne dass weit reichende Auswirkungen auf die gesamte Produktionsstätte zu berücksichtigen sind.

Von besonderem Nutzen ist der Einsatz von modularen Gestaltungsprinzipien, wenn mehrere Varianten eines Grundtyps, beispielsweise von Fabriken, erzeugt werden sollen. Eine variable Kombination von Modulen sowie die Neuentwicklung oder Anpassung von Modulen innerhalb definierter Grenzen erlauben es,

eine Bandbreite von Varianten basierend auf vorhandenen Komponenten zu gestalten [EVERSHEIM 2001 A; FELDMANN & SLAMA 2001].

Neben einer vereinfachten Anpassbarkeit einzelner Teilbereiche innerhalb eindeutiger Schnittstellen erleichtern modulare Strukturen eine Mehrfachverwendung von Teillösungen. Wird eine derartige Zielsetzung verfolgt, so ist eine systematische und strukturierte Ablage der Teilelemente, beispielsweise in so genannten „Baukästen“, hilfreich. Strategien hierfür werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

4.4.3 Baukastenstrategien

„Die Baukastenbauweise ist ein Verfahren zur Herstellung verschiedener, zusammengesetzter Gegenstände aus einem Elementvorrat“ [NASVYTIS 1953]. Unterschiedliche Verwendungen des Begriffes „Baukastenbauweise“ setzen entweder eine konstanten Anzahl an Gestaltungselementen voraus [NASVYTIS 1953], oder lassen es zu, bei Bedarf weitere Einheiten zu dem vorhandenen Elementvorrat hinzuzufügen [AURICH ET AL. 2003]. Im letzteren Fall ist der Baukasten somit ein „offenes System“. Bei Baukästen, die durch eine hohe Anzahl an Elementen, durch wiederkehrende Teil- und Subsysteme auf unterschiedlichen Hierarchieebenen oder wiederholt verwendbare Lösungsmuster gekennzeichnet sind, werden Kriterien zur Strukturierung angewandt, um so die vorhandene Komplexität beherrschbar zu gestalten. Zur Systematisierung dient beispielsweise die Differenzierung zwischen Baukästen mit Bausteinen gleicher oder verschiedener Rangordnung [BOROWSKI 1961]. Bausteine lassen sich danach gliedern, ob ihre Verwendung zwingend oder optional ist (Klassifikation nach der Verwendung), ob es sich um abstrakte oder konkrete (stoffliche) Bausteine handelt (Klassifikation nach dem Konkretisierungsgrad) oder ob es sich um elementare oder konfigurierte Bausteine (Klassifikation nach der Konfiguration) handelt [KOHLMASE 1997]. Dabei setzen sich die so genannten konfigurierten Bausteine aus untergeordneten Bausteinen zusammen. Auf unterster Ebene liegen elementare, nicht weiter konfigurierbare Bausteine vor.

Fazit

Die Verwendung von Baukästen ermöglicht es also, unterschiedliche Lösungsvarianten auf der Basis erprobter Teillösungen zu entwickeln. Verglichen mit grundlegenden Neuentwicklungen von verschiedenen Lösungen kann so eine Aufwandsreduktion durch Synergieeffekte im Austausch zwischen Projekten er-

reicht werden [ENDERLEIN ET AL. 2003]. Darüber hinaus ist es möglich, Baukästen um neue Teillösungen zu erweitern, welche innerhalb der definierten Modulgrenzen entwickelt werden.

4.4.4 Fertigungssegmentierung

Eine Umsetzung der Modularisierung von Fabrikstrukturen (vgl. Abschnitt 4.4.2) besteht in der so genannten „Fertigungssegmentierung“. Dem Gestaltungsansatz der Segmentierung liegt die Annahme zugrunde, dass sich die Koordination innerhalb eines Teilbereichs leichter vollzieht als zwischen verschiedenen Teilbereichen. Aus diesem Grund werden alle zur Leistungserstellung notwendigen betrieblichen Teilfunktionen in einem Bereich zusammengefasst (Abbildung 17). Definitionsmerkmale von Fertigungssegmentierung sind

- Markt- und Zielausrichtung,
- Produktorientierung,
- Zusammenfassung mehrerer Stufen der logistischen Kette eines Produktes,
- Übertragung indirekter Funktionen und
- Kostenverantwortung.

Motivationsfaktoren für die Fertigungssegmentierung sind die Möglichkeit, „*differenzierte Kundenwünsche schneller erfüllen zu können*“, die Verbesserung der Qualität, sowie Kostensenkung und -transparenz [WILDEMANN 1988].

Die genannte Markt- und Zielausrichtung bezieht sich auf die Organisationsstruktur innerhalb des Unternehmens, da in der Regel nicht der Endkunde eines Produkts fokussiert wird. Es erfolgt eine „*Lieferung an weiterverarbeitende Kunden, wobei letztere auch im eigenen Unternehmen angesiedelt sein können*“ [WILDEMANN 1988].

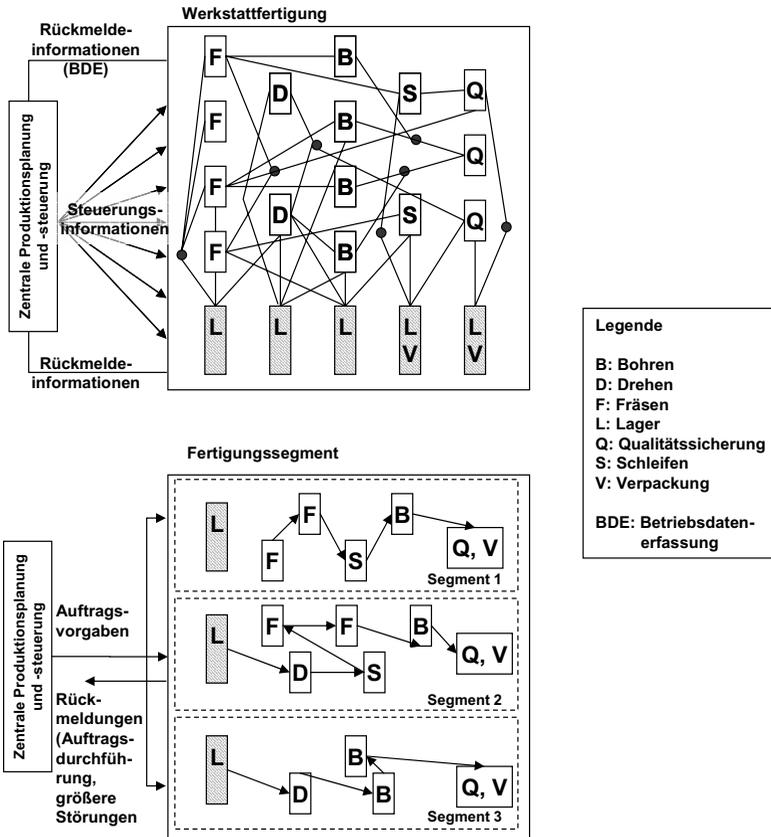


Abbildung 17: Prinzip der Fertigungssegmentierung [WILDEMANN 1988]

Fazit

Mit einer produktorientierten Konzentration von Produktionsprozessen und -ressourcen können somit reduzierte Bestände, kürzere Durchlaufzeiten und damit eine erhöhte Flexibilität in der Produktion erreicht werden. Verglichen mit der technologieorientierten Gruppierung nach dem Werkstattprinzip treten unter Umständen geringere Mengeneffekte auf, beispielsweise bei der maximalen Kapazitätsauslastung einzelner Ressourcen. Bei einer Produktion mit kurzfristig

schwankendem Bedarf bzw. einer hohen Variantenvielfalt treten kurze Durchlaufzeiten und eine hohe Flexibilität dem gegenüber in den Vordergrund.

4.4.5 Das Fraktale Unternehmen

„Ein Fraktal ist eine selbständig agierende Unternehmenseinheit, deren Ziele und Leistungen eindeutig beschreibbar sind“ [WARNECKE 1993]. Bei der Anwendung im Bereich der Unternehmensgestaltung zeichnen sich Fraktale durch die drei wesentlichen Merkmale

- Selbstorganisation,
- Selbstähnlichkeit und
- Dynamik aus.

Bei diesem Ansatz sind Fraktale „Unternehmen im Unternehmen“, die folglich selbstständig, eigenverantwortlich und unternehmerisch denken und handeln. In den Grundzügen ist das Konzept der *Fraktalen Fabrik* [WARNECKE 1993] damit mit der Fertigungssegmentierung, die im vorangegangenen Abschnitt beschrieben wurde, vergleichbar. In Abbildung 18 ist eine Abgrenzung dieser beiden Ansätze zueinander dargestellt.

Segmentierung	Fraktale Fabrik
Produzieren	Leisten (im weitesten Sinne) Dienste
Einmalige, zeitpunktbezogene Strukturierung (Antrieb von Draußen)	Ständiger Wandlungsprozess (dynamische Strukturierung)
Eignung für stabile Umwelt	Eignung für dynamische/turbulente Umwelt
Arbeiten mit Zielvorgaben	Integration in den Zielfindungsprozess
Selbstverantwortlich	Organisieren und verwalten sich selbst
Werden ergebnisbezogen bewertet	Navigieren

Abbildung 18: Unterschied zwischen Segmentierung und Fraktalen [WARNECKE 1993]

Fazit

Das Prinzip des Fraktalen Unternehmens hat also, vergleichbar mit der Fertigungssegmentierung, die Untergliederung des Unternehmens in selbstverantwortliche Untereinheiten zum Ziel. Aufgrund der Eigenschaft einzelner Teilbereiche, notwendige Anpassungs- und Veränderungsprozesse aus sich selbst heraus koor-

dinieren und durchführen zu können, ist das Konzept der Fraktalen Fabrik besonders für ein turbulentes Umfeld geeignet.

Vergleichbar mit dem Prinzip der Fertigungssegmentierung stehen bei der Fraktalen Fabrik die Strukturierung von Fabriken mit deren Teilbereichen sowie Optimierungen innerhalb dieser Teilbereiche im Vordergrund.

4.4.6 Die Virtuelle Fabrik

Eine weitere Ausprägung von Kunden-Lieferanten-Beziehungen im Produktionsprozess, und zwar in einer fabrikübergreifenden Form, tritt in der Organisationsform der so genannten „Virtuellen Fabrik“ auf. Virtuelle Fabriken sind zeitlich begrenzte Kooperationen mehrerer, rechtlich unabhängiger, realer Fabriken oder Unternehmensbereiche mit dem Ziel, ein bestimmtes Produkt oder eine Dienstleistung zu erstellen. Jedes Unternehmen bringt dabei nur die Aktivitäten in eine virtuelle Fabrik ein, die es besser als andere beherrscht [SCHUH ET AL. 1998].

Im Rahmen von Kooperationen nach dem Schema der Virtuellen Fabrik können im Rahmen von Projekten Kernkompetenzen von anderen Unternehmen zugekauft werden. Um Tendenzen entgegen zu wirken, dass die eigenständigen Partner im Rahmen der zeitlich begrenzten Zusammenarbeit den eigenen Nutzen bei geringstem Aufwand maximieren, ist ein entsprechend detailliertes Regelwerk für die Kooperationspartner erforderlich.

Fazit

Die virtuelle Fabrik greift also den Grundgedanken von räumlich verteilten, miteinander vernetzten Fabriken auf. In erster Linie wird dabei nicht die Zielsetzung verfolgt, die Kundenorientierung durch individuelle Produkte zu steigern oder in Marktnähe zu produzieren. Vielmehr sollen innerhalb des Netzwerks unterschiedliche Kernkompetenzen miteinander kombiniert und Spezialisierungseffekte genutzt werden.

4.4.7 Netzwerke für Produktionsdienstleistungen

Als Reaktion auf eine zunehmende Individualisierung der Kundennachfrage sowie auf eine zunehmende Prognoseunsicherheit wurden Ansätze für kurzfristige Unternehmenskooperationen entwickelt. Als Erweiterung zu Maßnahmen der innerbetrieblichen Optimierung steht hierbei die Konfiguration unternehmens-

übergreifender Wertschöpfungsketten im Vordergrund [REINHART ET AL. 2000 D; REINHART ET AL. 2000 E; RUDORFER & WEBER 2000; SCHLIFFENBACHER ET AL. 1999]. Durch die Nutzung von Internet-Technologien können „Virtuelle Handelsplattformen“, beispielsweise für produktionstechnische Dienstleistungen, eingerichtet werden. Mit derartigen Kommunikationswegen sind Angebot und Nachfrage schnell zu überblicken. Bei Anforderungen, welche sie selbst nicht erfüllen können, werden Unternehmen dahingehend unterstützt, geeignete Kooperationspartner kurzfristig für eine Zusammenarbeit ausfindig zu machen.

Fazit

Mit Netzwerken für Produktionsdienstleistungen können Unternehmen also eigene Über- und Unterkapazitäten vergleichsweise kurzfristig ausgleichen. Kernkompetenzen und verfügbare Kapazitäten sind hier die Motivation für eine Zusammenarbeit von unter Umständen lokal verteilten Unternehmen. Eine spezielle Konzentration auf regional begrenzte Märkte einzelner Kooperationspartner steht bei diesem Ansatz nicht im Vordergrund.

4.5 Dezentralisierung

4.5.1 Produktionssysteme

So genannte Produktionssysteme in organisatorischer Hinsicht werden mit dem Ziel einer Effizienzsteigerung basierend auf einer Prozessstandardisierung entwickelt. Damit wird die wichtigste Zielsetzung von Produktionssystemen, die Reduktion von Verschwendung und Blindleistung, erfüllt. Mit Hilfe eines gemeinsamen Prozessverständnisses bei allen Mitarbeitern soll der Aufwand für Abstimmungs- und Anpassungsarbeiten sowie Doppelarbeit gesenkt werden. Ausgehend von dem bekannten Toyota Production System haben eine Vielzahl von Unternehmen eigene Produktionssysteme entwickelt (siehe z. B. [ROSS 2004]). Als typische Kennzeichen von Produktionssystemen sind die Systematisierung, Optimierung und Vereinheitlichung folgender Merkmale zu nennen:

- Produktionsprinzip (Push- oder Pull-Prinzip)
- Produktionsorientierte Layouts
- Produktions- und Materialflusssteuerung (One-Piece-Flow, Kanban)
- Schlüssel-Schloss-Prinzip

- Standards bei der Arbeitsplatz-Beschreibung
- Kontinuierliche Anwendung von Methoden der Prozessverbesserung (z. B.: 5S-Workshops)

Fazit

Mit der Einführung von Produktionssystemen und den damit geschaffenen unternehmensweiten Standards wird somit die Transparenz bei der Zusammenarbeit unterschiedlicher Standorte in global agierenden Unternehmen gesteigert. Die Methoden von Produktionssystemen lassen sich in Werksverbänden einzelner Fabriken auch bei unterschiedlichen Kernkompetenzen und Aufgaben anwenden. Während sich Produktionssysteme und damit verbunden eine Standardisierung von Abläufen zunehmend durchsetzen, ist auf der technischen Ebene, beispielsweise bei der Gestaltung (Vorschriften) von Betriebsmitteln, eine Vereinheitlichung noch nicht umgesetzt. Zum Teil begründet durch unterschiedliche Kernkompetenzen einzelner Fabriken im Werksverbund sind selbst innerhalb einzelner Unternehmen an unterschiedlichen Standorten spezifische Vorschriften für Betriebsmittel zu beobachten.

4.5.2 Completely Knocked Down (CKD)

Ein Ansatz, bei dem eine systematische Zuordnung von Produktionsstandorten zu Absatzmärkten betrieben wird, sind Werke nach dem Prinzip des „Completely Knocked Down (CKD)“. Das CKD-Konzept entstand als Reaktion auf Einfuhrbeschränkungen und Importzölle auf fertige Produkte, wie sie in erster Linie bei wirtschaftlich schwächeren Ländern zu beobachten sind. Zielsetzung derartiger gesetzlicher Vorschriften ist es, dass ein Mindestanteil der Wertschöpfung eines Produkts im Absatzland stattfindet. So sollen die lokal ansässige Industrie sowie Arbeitskräfte in den Wertschöpfungsprozess eingebunden werden. Beim CKD-Verfahren werden Teile und Baugruppen von Standardprodukten in die entsprechenden Länder eingeführt. Vor Ort werden diese, ergänzt mit lokal gefertigten Teilen, zum Endprodukt vervollständigt [RAUCH 1997].

Fazit

Mit dieser Art von marktnaher Produktion können also Einfuhrzölle umgangen werden. Dies ist beim CKD-Prinzip auch die Motivation, marktnah zu produzieren. Gegenüber diesem monetär bewertbaren Motiv tritt der Gedanke einer Verbesserung der Kundeninteraktion in den Hintergrund. Aus strategischer Sicht ist

der teilweise bedeutende Aufwand für einen Markteintritt und eine Vor-Ort-Produktion nach dem CKD-Prinzip dadurch gerechtfertigt, dass Entwicklungskosten sowie Fixkosten der eingeführten Produktkomponenten auf eine erhöhte Gesamtstückzahl an Produkten verteilt werden. Darüber hinaus kann die lokale Präsenz sowie die Einbindung lokaler Mitarbeiter zu einem Image-Gewinn und dadurch zu erhöhter Marktakzeptanz führen.

4.5.3 Einzelfertiger

Eine Produktion individualisierter Verbrauchsprodukte in unmittelbarer Nähe zu den Absatzmärkten ist im Fall von lokal ansässigen Einzelfertigern in Form von Handwerksbetrieben zu beobachten. Als wesentliche Kennzeichen einer Einzelfertigung werden genannt [PILLER 2003]:

- auftragsbezogene Kalkulation,
- hohes Flexibilitätsbedürfnis in allen Fertigungsstufen,
- individuelle Planung jedes Produktionsprozesses und
- spezifische Erstellung der Fertigungsunterlagen.

Bei diesem Konzept der Einzelfertigung hat der Kunde die Möglichkeit, ein von Grund auf neu konzipiertes Produkt zu erhalten, während bei Konzepten zur Fertigung von individualisierbaren Produkten in großer Stückzahl die spezifischen Produkte auf einer vorhandenen Produktspezifikation aufbauen [PILLER 2003]. Als Folge ist die Einzelfertigung nur in einem geringen Maß durch standardisierte Prozesse gekennzeichnet. Aufgrund der im Allgemeinen geringen Übereinstimmungen einzelner Produktionsaufträge ist ein hoher Personaleinsatz für jeden Auftrag notwendig. Effekte der Effizienzsteigerung sind in erster Linie durch Übungseffekte begründet und daher an Personen gekoppelt. Eine Kostensenkung wird deshalb nur in einem geringen Maß wirksam. Jeder Anbieter produziert eine vergleichsweise geringe Anzahl an vergleichbaren Produkten mit einfachen Ressourcen. Deswegen kommen zwar Lerneffekte in gewissem Umfang zum Tragen, Erfahrungseffekte wirken sich jedoch kaum oder nur zu einem geringen Teil aus.

Fazit

Bei der Einzelfertigung von Verbrauchsgütern werden also Produkt und Produktionsprozesse auftragsbezogen gestaltet. Bei der Umsetzung kommen handwerkliche Prozesse in Verbindung mit Universalmaschinen zum Einsatz. Aufgrund der

kundenindividuellen Produktentwicklung einfacher Produktionsmaschinen beschränkt sich die Einzelfertigung von Gebrauchsgütern auf Produkte von geringer Komplexität. Einzelfertiger entwickeln und produzieren Produkte unabhängig voneinander.

4.5.4 Wenige verteilte Fabriken für die variantenreiche Serienproduktion

Industrielle Produktionsunternehmen agieren zunehmend in einem globalen Umfeld. Neben dem Vertrieb von Produkten und Marktforschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf weltweit verteilten Märkten findet zunehmend auch die Produktion in wenigen Fabriken an global verteilten Standorten statt. Gerade bei technologisch anspruchsvollen Produkten tritt der Aspekt einer Verlagerung in Niedrig-Lohn-Länder hinter Aktivitäten der strategischen Markterschließung sowie der Vereinfachung der Logistik zurück [DANTZER & RÖHRIG 2004]. Insbesondere bei hochentwickelten Ausprägungen der Variantendiversifikation sind Zulieferer häufig gezwungen, eigene Produktionsstandorte in der Nähe ihrer Abnehmer zu eröffnen [SCHUH ET AL. 2003 A].

Fazit

Bei der variantenreichen Serienproduktion werden also die Vorteile einer geografischen Nähe zu den Märkten in der Regel nur für den Hauptabsatzmarkt nutzbar. Eine starke zahlenmäßige Zunahme von Produktionsstätten wird einerseits durch die hohen Anlagenkosten für konventionelle Produktionsprozesse verhindert. Andererseits macht eine extreme Variantendifferenzierung umfangreiche Strategien zur Einbindung von Zulieferern mittels JIT- und JIS-Strategien notwendig, welche sich nicht auf eine beliebig hohe Anzahl an Produktionsstätten anwenden lassen.

4.6 Wandlungsfähige Produktion

4.6.1 Begriffe und Abgrenzungen

Veröffentlichungen aus Industrie und Forschung berichten übereinstimmend, dass die Fähigkeit von Fabrikssystemen, schnell auf Veränderungen reagieren zu können, in den letzten Jahren zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor geworden ist [COMSTOCK & OSSBAHR 2000; MATT 2002; KIMURA & KAKUTA 2003]. Während es in einem weitgehend stabilen Unternehmensumfeld eher möglich ist,

notwendige Änderungen von Fabriken längerfristig zu prognostizieren und umzusetzen, reicht eine stufenweise Realisierung von vorausgeplanten Anpassungsmaßnahmen im Allgemeinen nicht aus, um in einem turbulenten Unternehmensumfeld erfolgreich zu sein [EVERSHEIM 2001 A; HARTMANN 1996; HIRSCHBERG 2000]. Der Begriff „Flexibilität“, der im Bereich der Fabrikplanung in unterschiedlichen Zusammenhängen vielfach verwendet wird [DE TONI & TONCHIA 1998], wurde in den späten 90er Jahren des 20. Jahrhunderts daher inhaltlich erweitert. Der Begriff *Wandlungsfähigkeit* hat sich für die Fähigkeit von Fabrikssystemen, sich an veränderte Rahmenbedingungen auch jenseits geplanter Korridore anzupassen, im deutschsprachigen Raum weitgehend durchgesetzt [HERNANDEZ 2003; REINHART ET AL. 2000 C; SCHUH ET AL. 2004 A; SPATH ET AL. 2001; WESTKÄMPER ET AL. 2000; WIENDAHL 2002 B; WIRTH ET AL. 2003]. In internationalen Veröffentlichungen finden sich ebenfalls Ansätze, die über Flexibilität hinausgehen, beispielsweise „... *hyper-flexibility came to denote a vision of a production system revealing a significantly greater magnitude of flexibility*“ [COMSTOCK & OSSBAHR 2000] (... „Hyper-Flexibilität“ kennzeichnet die Vision eines Produktionssystems mit einem maßgeblich höheren Ausmaß an Flexibilität). In den beiden folgenden Abschnitten werden die Begriffe „Flexibilität“ und „Wandlungsfähigkeit“ voneinander inhaltlich abgegrenzt.

4.6.2 Flexibilität

Der Begriff „Flexibilität“ beschreibt die Fähigkeit eines Systems, sich innerhalb bestimmter Dimensionen zu verändern und sich so an die Anforderungen vorgedachter Szenarios anzupassen [WESTKÄMPER ET AL. 2000]. „*Flexible Lösungen funktionieren immer dann gut, wenn sich die Veränderungen in der vorgedachten Dimension und im prognostizierten Rahmen bewegen*“ [REINHART ET AL. 2000 C]. Mit der Gestaltung von flexiblen Produktionssystemen werden Aktionsräume für spätere Entscheidungen geschaffen, um den Anforderungen eines unsicheren und dynamischen Umfeldes innerhalb eines erwarteten Korridors gerecht zu werden. „*Innerhalb dieser Aktionsräume kann das System flexibel auf die Realisation von Zufallsvariablen reagieren*“ [DÜRRSCHMIDT 2001]. Die Flexibilität selbst äußert sich darin, dass sich das System auf zwar bekannte, aber wechselnde Anforderungen einstellen kann.

4.6.3 Wandlungsfähigkeit

Wandlungsfähigkeit geht über die Flexibilität hinaus und umfasst diese als Teilmenge. Eine einheitliche Definition des Begriffes „Wandlungsfähigkeit“ liegt nicht vor. Veröffentlichungen bezeichnen Wandlungsfähigkeit als „neue Dimension der Flexibilität“ oder als Flexibilität, erweitert um Reaktionsfähigkeit [REINHART ET AL. 2000 C]. Weitere Beschreibungen von Wandlungsfähigkeit beinhalten Elemente wie „Wandelbarkeit“, „Reaktionsfähigkeit“, „Wirtschaftlichkeit“ oder die „Fähigkeit zur raschen Veränderung“, „Anpassungsfähigkeit“, „Entwicklungsfähigkeit“ und „Turbulenzfähigkeit“, die in einer weiteren Detaillierungsebene auf den Bausteinen „Vorausschau/Initiative“, „Flexibilität“ und „Reaktionsfähigkeit“ basieren [WESTKÄMPER ET AL. 2000; HARTMANN 1996; SPATH ET AL. 2001; SPATH ET AL. 2002 A].

Wenn auch mit unterschiedlichen Begriffen bezeichnet, so stimmen die grundsätzlichen Aussagen der genannten Ansätze inhaltlich überein. Eine wesentliche Gemeinsamkeit ist, dass der Begriff der reinen Flexibilität um weitere, andersartige Komponenten erweitert wird: Zur Fähigkeit von Fabrikssystemen, auf prognostizierbare Veränderungen zu reagieren, kommen Potenziale, welche angemessene Reaktionen auf nicht vorhersehbare Anforderungen zulassen. Einzelne Quellen nehmen dabei explizit Stellung zu einer Kundenorientierung, die den Bedarf nach einer kundenindividuellen Produktion zur Folge hat. Zielsetzung ist beispielsweise „... *the ability to quickly ramp-up production in pace with unforeseen customer demand. (...) The goal of creating customized products down to a batch size of one, and even on a mass scale, was also important*“ [COMSTOCK & OSSBAHR 2000] (... *die Fähigkeit, die Produktion schnell und abgestimmt auf unvorhergesehene Kundenanforderungen anlaufen zu lassen. (...) Ebenfalls wichtig war die Zielsetzung, kundenspezifische Produkte bis zur Losgröße eins und auch massenhaft herzustellen*). Bei den Ansätzen, die zur Realisierung einer wandlungsfähigen Produktion verfolgt werden, schließen die Gestaltungsobjekte für Wandlungsfähigkeit Hierarchiestufen von der unternehmensübergreifenden und unternehmensinternen Organisation über die Produktionssystemebene bis zu technologischen Prozessen ein [WIENDAHL 2002 B]. Mit der Fähigkeit, auf von vorneherein unbekannte Anforderungen reagieren zu können, umfasst Wandlungsfähigkeit „ungerichtete Anpassungspotenziale“. Für eine wirtschaftlich sinnvolle Umsetzung wandlungsfähiger Produktionssysteme muss es möglich sein, Anpassungspotenziale zu einem geringeren monetären Aufwand als bei fle-

xiblen Produktionssystemen vorzuhalten und zu nutzen. Dies macht Methoden und Instrumente für eine systematische Konzeption und Nutzung wandlungsfähiger Fabriken [DOHMS 2001; HERNANDEZ 2003] notwendig.

Fazit

Gerade bei der marktnahen Produktion individualisierter Produkte muss es möglich sein, schnell in neue Märkte einzutreten und diese in der geforderten Stückzahl zu bedienen bzw. Märkte wieder zu verlassen.

Die gemeinsam mit dem Kunden durchzuführende Festlegung der individualisierten Produktumfänge wirkt sich erheblich auf die Produktionsgestaltung aus: Weder sind Entwicklungstendenzen des Nachfrageverhaltens der Kunden langfristig prognostizierbar, noch können bei der Entwicklung des Produktspektrums und damit verbunden bei der Planung der Produktionsressourcen individuelle Wünsche von Kunden vorausgesagt werden.

4.6.4 Gestaltung wandlungsfähiger Produktion

Ansätze zur Realisierung von wandlungsfähigen Fabriken basieren übereinstimmend auf dem Prinzip, Fabriken modular zu gliedern, unterscheiden sich aber hinsichtlich der Ausprägung bei der Strukturierung. Der Rückgriff auf vorhandene, bei Bedarf anpassbare Elemente erlaubt eine schnelle Planung unter Berücksichtigung bereits erprobter Lösungen. Eine analoge Umsetzung der Modularisierung sowohl bei der Planung als auch beim technischen Aufbau der realen Produktionsressourcen kann durch Mehrfachverwendung von standardisierten Elementen die Geschwindigkeit und Qualität von Planung und Umsetzung steigern [HILDEBRAND ET AL. 2003]. Durch eine modulare Gestaltung von Fabriken, welche die gegenseitige Beeinflussung einzelner Module in definierter Weise entkoppelt, wird es möglich, Änderungen in Fabriken vorzunehmen, ohne dass weitreichende Anpassungen notwendig werden [SCHUH ET AL. 2003 B]. „*The advantage of a so called „uncoupled“ design is that a change of one of these [change] drivers has only impact on one design object*“ [EVERSHEIM & NEUHAUSEN 2001] (vgl. Abbildung 19) (*Der Vorteil der so genannten „entkoppelten“ Gestaltung liegt darin, dass sich die Modifikation eines Veränderungstreibers nur auf ein Gestaltungsobjekt auswirkt*).

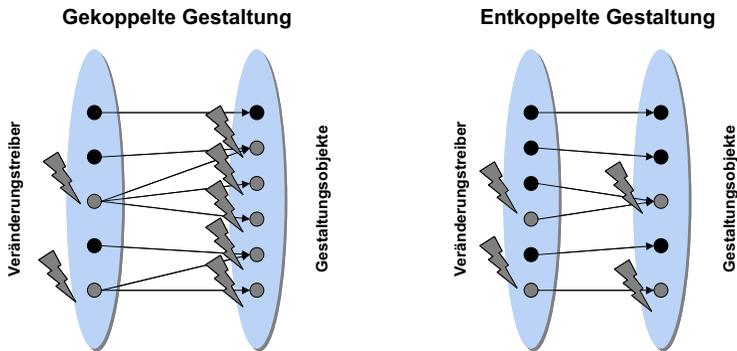


Abbildung 19: Entkoppeltes, modulares Design für Fabrikstrukturen [EVERSHEIM & NEUHAUSEN 2001]

Zur Realisierung von Fabrikstrukturen, die sich aus entkoppelten, modular gestalteten Bestandteilen zusammensetzen, werden beispielsweise veränderliche Elemente in Module zusammengefasst. Als Ergänzung zu diesen variablen Modulen werden Plattformen definiert, denen invariante Grundelemente wie die Verkettung oder die Medienversorgung zugeordnet sind [ZOHM & BERGHOLZ 2002].

Bei der Spezifikation von Fabrikstrukturen werden räumliche, technische und organisatorische Kriterien für die Abgrenzung von Fabrikelementen herangezogen (vgl. beispielsweise Projekt „WdmF – Wandlungsfähigkeit durch modulare Fabrikstrukturen [NOFEN ET AL. 2003 B]). Bei der Definition und Gestaltung von Fabrikmodulen (Abbildung 20) finden sich die Grundzüge der in Abschnitt 4.4.3 genannten Gliederung nach Modulen und Submodulen verschiedener Rangordnung wieder. Über die in Abschnitt 4.4.2 genannten Gliederungsebenen

- Prozess- und Produktionssystemebene,
- Fabrikebene und
- Unternehmensebene

hinaus werden bei dem hier vorgestellten Ansatz [NOFEN ET AL. 2003 B] in einer weiteren Detaillierung folgende Ebenen explizit genannt:

- Einzelplatz,
- Gruppe,
- Bereich,
- Generalstruktur und
- Standort.

Abbildung 20 zeigt schematisch den Aufbau einzelner Fabrikmodule.

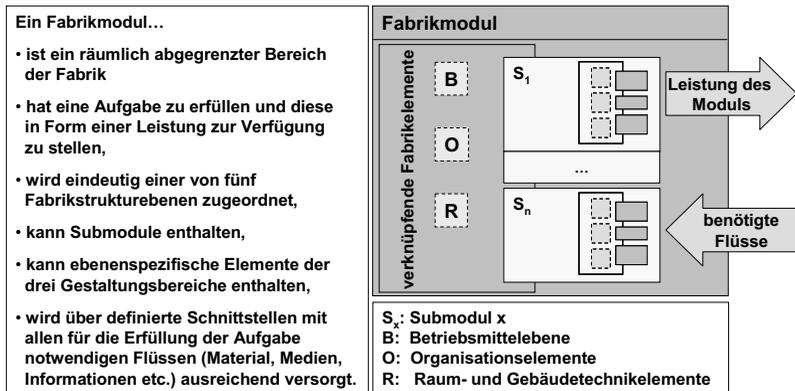


Abbildung 20: Fabrikmodul am Beispiel des Projekts „WdmF“ [NOFEN ET AL. 2003 B]

Fazit

Der modulare Aufbau in den genannten Konzepten unterstützt also die Gruppierung von Elementen, die sich im Verlauf des Produktionszyklus ändern werden, in definierten Bausteinen. Somit wird ermöglicht, bei eintretenden Veränderungstreibern die dafür vorgeplanten Anpassungen vorzunehmen. Gleichzeitig bietet der Aufbau Freiräume, um innerhalb definierter Grenzen neue Lösungen zu entwickeln und diese in stabile Strukturen zu integrieren, wenn unvorhergesehene Anforderungen an die Produktion eintreten.

Bei den beschriebenen Ansätzen liegt die Motivation für die Entwicklung modularer Strukturen in erster Linie in der schnellen und aufwandsarmen Durchführbarkeit von Anpassungsmaßnahmen in *einer* Fabrik. Mit einer modularen Struk-

tur kann der Änderungsbedarf in einer betrachteten Fabrik spezifisch lokalisiert werden. Die Eingrenzung der Auswirkungen von Anpassungsmaßnahmen ermöglicht die gezielte und schnelle Umsetzung.

4.6.5 Mobile Produktion

Ein modularer Aufbau bei der logischen Verkettung von Produktionsressourcen schafft lediglich eine Voraussetzung für die aufwandsarme Durchführung gezielter Anpassungsmaßnahmen. Erfolgsfaktor für die Praxis ist die Umsetzbarkeit der Umgestaltungsmaßnahmen bezüglich der Hardware der Produktionsressourcen, um so Wandlungsfähigkeit in realen Fabriken zu erreichen: *„Flexibilität und Mobilität müssen stets im Zusammenhang gesehen werden. Sie ergänzen sich und sind Voraussetzung für die Wandlungsfähigkeit einer Fabrik“* [WIRTH ET AL. 2003; WESTKÄMPER 1999]. Als Vorteile von mobilen Fabriken bzw. mobilen Fabrikelementen werden schwerpunktmäßig zwei Aspekte beschrieben:

- Einerseits erlaubt eine schnelle Positionierung von Produktionseinrichtungen in Absatzmarktnähe, auf kurzfristige veränderliche Marktbedarfe zu reagieren [REINHART ET AL. 2000 A].
- Andererseits besteht für Produktionsunternehmen die Möglichkeit, Standorte, an denen eine Produktion uninteressant geworden ist, mit vergleichsweise geringem Aufwand wieder zu verlassen [EVERSHEIM ET AL. 2002].

Ziel ist es daher, die Ressourcen, beispielsweise die Anlagentechnik für Laserstrahlschweißprozesse, *„so kompakt und in sich geschlossen [zu] gestalten, dass benötigte Komponenten und Betriebsmittel bei einer Verlegung des Prozesses bereits automatisch zur Verfügung stehen“* [ZÄH & ULRICH 2003]. Hier sind beispielsweise *„flexibel konfigurierbare, automatisierte Spannvorrichtungen“* zu nennen.

Fazit

Mobile Produktionsmodule mit standardisierten Schnittstellen können also vergleichsweise schnell aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Ihre Verwendung trägt daher erheblich zur Umsetzung einer marktnahen, wandlungsfähigen Produktion bei. Von technischer Seite aus ist die Auslegung der Ressourcen hinsichtlich Mobilität, unter anderem durch kompakte Gestaltung, Voraussetzung. Darüber hinaus sind nur solche Ressourcen für die marktnahe Produktion geeig-

net, deren technischer Aufbau geringe Anforderungen (z. B.: Fundament etc.) an den Standort stellt. Dies unterstützt eine Weiterverwendung von Ressourcen an anderen Standorten, falls ein Marktrückzug erforderlich ist, und minimiert das Investitionsrisiko.

4.7 Prozesse und Werkzeuge der Fabrikplanung

4.7.1 Allgemeines

In den vorangegangenen Abschnitten wurden technische Voraussetzungen identifiziert (Abschnitt 4.2.2 bis Abschnitt 4.2.3) und Gestaltungsprinzipien von Produktionsstrukturen beschrieben (Abschnitt 4.4.1 bis Abschnitt 4.4.7), welche als Grundlagen für das Konzept einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte im industriellen Maßstab von Bedeutung sind. In den folgenden Abschnitten sollen Prinzipien und Methoden der Fabrikplanung dahingehend betrachtet werden, inwieweit sie eine effiziente Planung von hoher Qualität und damit schnelle Produktionsanläufe erlauben und eine systematische Dokumentation und Weitergabe von Planungswissen ermöglichen.

4.7.2 Weiter- und Wiederverwendung von Information bei der Fabrikplanung

Aufgrund der Komplexität von Fabrikplanungsaufgaben und der benötigten Planung und Optimierung aus unterschiedlichen Sichtweisen ist die Fabrikplanung durch stufenweises Vorgehen charakterisiert (vgl. Abschnitt 4.4.1 „Vorgehen bei der Strukturierung und Planung von Fabriken“; Abbildung 21). In einzelnen Schritten wird unter Berücksichtigung unterschiedlicher Komponenten eines Zielsystems ein Gesamtoptimum für die letztendlich umzusetzende Lösung angestrebt. Dabei wird im Verlauf des Planungsprozesses die entsprechende Information in zunehmendem Maße detailliert (Abbildung 21; Abbildung 22). Mit Erreichen des so genannten „Point of no return“ liegt ein Reifegrad vor, so dass basierend auf den Erkenntnissen aus der Planung eine Aussage hinsichtlich der Realisierbarkeit der ursprünglichen Zielsetzung getroffen werden kann. Die ansteigende Detaillierung der Planungsinformation ist hier zeitlich orientiert und tritt bei unterschiedlichen Vorgehensweisen gleichermaßen auf, beispielsweise bei der „analytischen“ oder der „synthetischen“ Planung. Bei dieser räumlich orientierten Klassifizierung werden in der analytischen Planung die notwendigen Ergebnisse tendenziell vom Generalbebauungslayout über das Groblayout bis

zum fein geplanten Layout erarbeitet, während die Schritte bei der synthetischen Planung in umgekehrter Weise vom Detail zum Gesamten durchlaufen werden. Die inhaltliche Komplexität hat zur Folge, dass im Planungsprozess ein großes Volumen an Information unterschiedlicher Art in koordinierter Weise zu handhaben ist. Daher ist es eine Zielsetzung bei der Gestaltung von Planungsprozessen, eine effiziente Planung durch Weiter- und Wiederverwendung von Information zu erreichen sowie Doppelarbeit oder das Entstehen von inkonsistenter Information zu reduzieren [ZÄH & WAGNER 2002 A]. Bezüglich der Weitergabe von Wissen zur Einsparung von wiederholter Informationsgenerierung lassen sich schwerpunktmäßig zwei Zielrichtungen unterscheiden:

- Weitergabe von Information zwischen einzelnen Projektphasen innerhalb eines Projekts (Abbildung 22)
- Wissensmanagement von Projekten zur Informationsweitergabe an vergleichbare Projekte

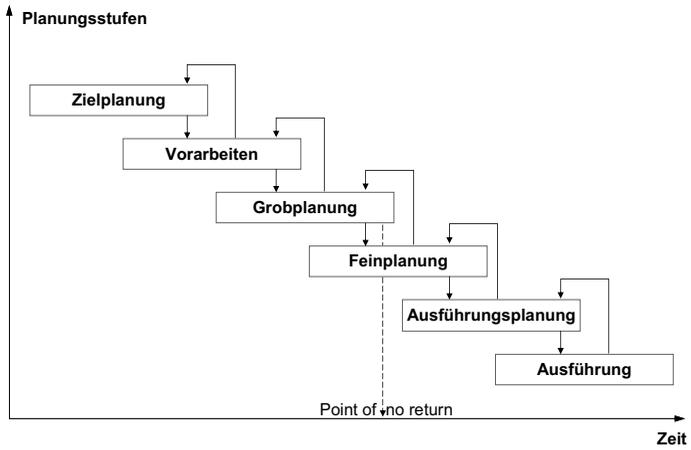


Abbildung 21: Phasen der Fabrikplanung [KETTNER ET AL. 1984]

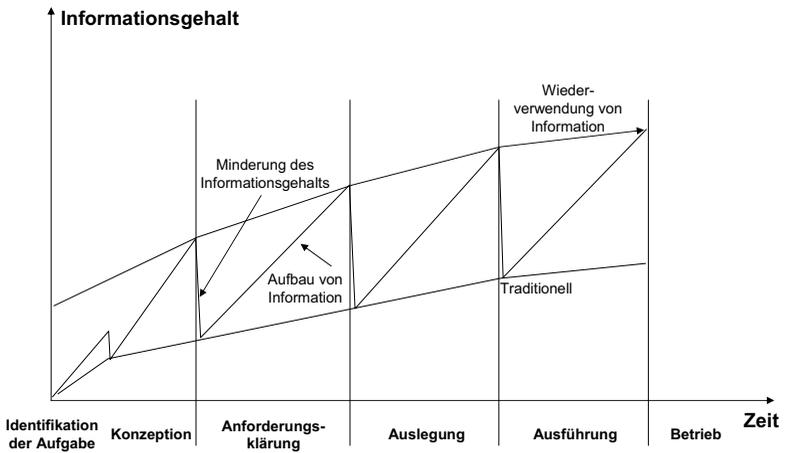


Abbildung 22: Aufbau und Weitergabe von Wissen zwischen Projektphasen (nach [KARLSSON & DE VIN 2002])

Fazit

Innerhalb eines Projekts unterstützt eine systematische Weiter- und Wiederverwendung von Information eine schnelle Planung und trägt zu einer hohen Planungsqualität bei. Allgemeine Zielsetzung bei Fabrikplanungsprojekten ist es, dank ausgereifter und möglichst umfassender Planungsergebnisse eine schnelle Umsetzung sowie eine hohe Auslastung der verfügbaren Produktionskapazität zu erreichen. Im Fokus der hier angesprochenen Weiter- und Wiederverwendung von Information stehen demnach Neu- und Anpassungsplanungen, beispielsweise bei Markteintritt oder bei Veränderungstreibern, die eine Anpassung von Produktionsstrukturen erfordern. Eine produktionsbegleitende Wiederverwendung von Information bei der Herstellung unterschiedlicher kundenspezifischer Produkte ist Gegenstand der Produktionsprozessplanung und soll in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet werden. Bei der Fabrikplanung erlaubt eine systematisch strukturierte Information die Berücksichtigung unterschiedlicher Planungsaspekte und damit eine „Abbildung“ sowie eine Abschätzung der Eigenschaften der geplanten Produktion bereits im Vorfeld. *Projektübergreifend* wird es möglich, neue Lösungen ausgehend von einem bereits erreichten Ergebnis zu entwickeln. Zudem ist die Erarbeitung geeigneter Planungsinformation eine Voraussetzung zur Erstellung aussagekräftiger Simulationsstudien und Visualisierungen mit Hilfe digitaler Werkzeuge.

4.7.3 Prozesse und Werkzeuge für eine digital unterstützte Planung

Einen wichtigen Beitrag zur effizienten Bearbeitung und Handhabung von umfangreicher Planungsinformation leisten Prozesse und Werkzeuge für eine digitale Unterstützung der Planung. Damit die Potenziale von digitalen Werkzeugen wirksam werden können, sind geeignete Arbeitsabläufe notwendig. Die Bestandteile der „Digitalen Fabrik“ bilden die technologische Voraussetzung für die Erstellung einer „Virtuellen Produktion“ [WESTKÄMPER ET AL. 2001]. Der Begriff „Digitale Fabrik“ bezeichnet dabei die Gesamtheit der Mitarbeiter, der informationstechnischen Werkzeuge (Applikationen) und der Engineering-Prozesse, die zur Erstellung der so genannten „Virtuellen Produktion“ notwendig sind [GERHARDT & LANZA 2001]. Der Ausdruck „Virtuelle Produktion“ charakterisiert die durchgängige, experimentierfähige Abbildung von Produktionsprozessen und -anlagen mit Hilfe digitaler Modelle [REINHART ET AL. 1999].

Ziele, die mit der Entwicklung der Virtuellen Produktion verfolgt werden, sind *„die drastische Reduktion der Planungszeiten, die Verkürzung der Inbetriebnahmephase, Kostenreduktion, Steigerung der Planungsqualität bei vergleichbarem Aufwand sowie die Erleichterung des verteilten Arbeitens“* [REINHART ET AL. 2003 A]. Die Digitale Fabrik *„soll sämtliche Elemente und Prozesse einer Fabrik in einem Rechnermodell abbilden und für den Menschen einfach begreifbar darstellen“* [WIENDAHL 2002 A]. Damit ist die Digitale Fabrik das Bindeglied zwischen realer Produktion und Virtueller Produktion [ZÄH & MÜLLER 2004]. Als einzelne Bestandteile der Digitalen Fabrik sind seitens der Software beispielsweise Werkzeuge für

- die Prozessplanung,
- die Layout-Planung,
- die Planung von Produktionskosten und
- für die Arbeitsplatzgestaltung

zu nennen [LINNER 2002]. Um Fabrikelemente in den unterschiedlichen, im Planungsprozess benötigten Sichten abbilden zu können und um den Aufwand für Datengenerierung, -aktualisierung und -pflege handhabbar zu gestalten, ist eine durchgängige informationstechnische Umgebung notwendig [MARCZINSKI 2004]. Weitere Vorteile der digital unterstützten Produktionsplanung liegen in der Möglichkeit, Varianten zu generieren und die in einer Applikation erstellte Information in weiteren Projektphasen zu nutzen [BLEY & FRANKE 2001; BLEY ET AL. 2003; LINNER 2002; WÖHLKE & SCHILLER 2003]. Für einen effizienten Einsatz der Virtuellen Produktion sind die Integration und die Vernetzung von Planungsprozessen und -werkzeugen notwendige Voraussetzungen [BERGER ET AL. 2004; ZÄH & WAGNER 2002 B]. In Analogie zu Methoden der Software-Technik wird eine auf dem Grundansatz der Objektorientierung basierende Herangehensweise auch für die Planung von Fertigungsstrukturen vorgeschlagen [SCHRÖER & MÜLLER-ROGAI 2002]: *„Die Fertigungswissenschaft [muss] einen Prozess vorantreiben, dessen Ergebnis Bibliotheken mit Simulationsmodulen für elementare Fertigungsschritte und für die verschiedenen Ebenen oder Schichten der Simulation sind“*.

Mit dieser Art der Strukturierung und Ablage von Daten in digitalen Werkzeugen sollen Ziele wie

- Verkürzung der wirtschaftlichen Schlüsselzeiten (time to product, time to market),
- Reduktion der Kosten durch Einsparung physischer Realisierungen und
- Erprobung von Produkten und Fertigungskonzepten in der Simulation

erreicht werden [SCHRÖER & MÜLLER-ROGAI 2002]. Unter Verwendung von geeigneten Prozeduren, Regeln und Datenmodulen sowie -bibliotheken können so, basierend auf einem Datenaustausch, skalierbare virtuelle Modelle von Fabriken erstellt werden [SCHRÖER & MÜLLER-ROGAI 2002; WESTKÄMPER ET AL. 2001].

Ein weiteres Ziel bei der Einführung der Virtuellen Produktion ist es, den Menschen durch Automatisierung von Routinetätigkeiten bei der Planung zu entlasten. Neue immersive Benutzerschnittstellen erleichtern den Anwendern die Interaktion mit der Virtuellen Produktion [REINHART ET AL. 2001].

Fazit

Digitale Werkzeuge wie CAD- oder PDM-Systeme haben sich in der Produktentwicklung bereits weitgehend durchgesetzt, und auch bei der Produktion ist ein umfassender Rechneinsatz (beispielsweise bei der Nutzung von ERP- oder MES-Systemen) weit verbreitet (Abbildung 23).

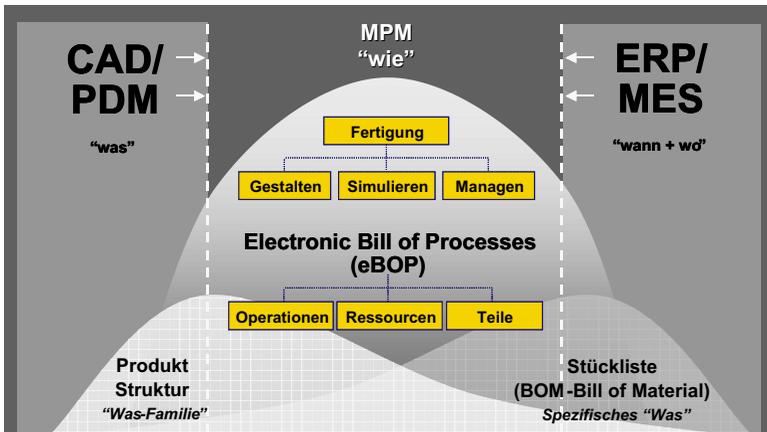


Abbildung 23: Positionierung des „Manufacturing Process Management“ (MPM) [LINNEN 2002]

Im Bereich der Produktionsplanung arbeiten Produktionsunternehmen noch an der Umsetzung einer Vernetzung von Insellösungen. Wie neuere Quellen zeigen [WESTKÄMPER ET AL. 2003 A; LINNER 2002], machen es die Vielfalt an Anwendungsfällen und die unterschiedlichen Anforderungen in Abhängigkeit des betrachteten Produktionsunternehmens notwendig, Integrationsansätze weiter zu entwickeln. *„Es bleibt jedoch die Herausforderung der Zukunft, die Kommunikation und Integration der Datenwelten angefangen mit der Produktentwicklung über die Digitale Fabrik zur Produktionsplanung und damit in den laufenden Betrieb zu realisieren“* [WESTKÄMPER ET AL. 2003 A].

4.7.4 Weiter- und Wiederverwendung von Daten

Mit der Wiederverwendung von Teillösungen aus vorangegangenen Projekten bzw. der Weiterentwicklung und Anpassung von vorkonfigurierten Lösungen aus Bibliotheken lässt sich der Aufwand im Vergleich zu einer Neu-Erstellung absenken (*„... naturally the effort of creating information is much higher than reusing existing information“* [KARLSSON & OSCARSON 2003]) (*... normalerweise ist der Aufwand zur Neuerstellung von Information deutlich höher als derjenige bei der Wiederverwendung vorliegender Information*). Aufgrund der Möglichkeit der Vervielfältigung und aufwandsarmen Anpassbarkeit von Information sind digitale Planungswerkzeuge hierfür geeignet. Bei der Planung von Fabriken und Produktionsressourcen werden die Planungsobjekte unter verschiedenen Sichten (z. B. Layout, logistische Kenngrößen, Kosten) betrachtet und bearbeitet. Die Verwendung von Bibliothekslösungen wird derzeit in der Regel vorwiegend innerhalb einzelner Bereiche durchgeführt. Bibliothekselemente verschiedener Planungssichtweisen haben daher oft unterschiedliche Umfänge und Grenzen. Bei der Planung werden Projekte mit bereichsspezifischen Strukturen und Hierarchien aufgebaut. Werden die zugehörigen Engineering-Prozesse nicht ganzheitlich betrachtet, so verursacht diese abgegrenzte Arbeitsweise Aufwand für Übertragungs- und Abgleicharbeiten. Häufig sind beispielsweise *„Mehrfacheingaben gleicher Informationen mit unterschiedlichen Werkzeugen notwendig, [...] die in den vorangegangenen Projektphasen zwar eventuell verfügbar gewesen wären, aber noch nicht benötigt wurden“* [DEPPE 2003]. Eine verstärkte Integration wird nicht selten durch abteilungsbezogene Planungsprozesse sowie durch eine historisch gewachsene und deshalb heterogene Systemwelt der Planungswerkzeuge behindert. *„Planungsarbeiten werden sozusagen an einzelnen Arbeitsplätzen ausgeführt und erst anschließend in Abstimmungsprozeduren*

mit allen Beteiligten verändert und optimiert. Diese Prozesse enthalten zahlreiche iterative Schritte und dauern zu lang“ [WESTKÄMPER 2000]. Die Einführung abteilungsübergreifender Prozesse sowie die Entwicklung einer gemeinsamen Datenbasis [MARCZINSKI 2004] helfen, Planungsgeschwindigkeit und -qualität zu erhöhen.

Damit bei Änderungsplanungen die Weiterentwicklung auf bereits vorhandener Information aufsetzen kann bzw. um bei neuen Projekten auf Wissen aus erfolgreich umgesetzten früheren Projekten zugreifen zu können, muss das virtuelle Abbild der Produktion mit der realen Produktion soweit wie möglich übereinstimmen. Häufig werden Änderungen, die bei der Umsetzung der Planung oder bei Inbetriebnahme der Produktionsanlagen auftreten, unzureichend in die Projektdaten eingepflegt. Hinzu kommt, dass Produktionssysteme im laufenden Betrieb verändert werden, beispielsweise wenn Prozessverbesserungen erreicht werden [NOFEN ET AL. 2003 B]. Die Folge ist, dass über den aktuellen Zustand der optimierten Produktion in den bestehenden Strukturen keine ausreichende Dokumentation vorliegt [FRÖHLICH 2002; WESTKÄMPER ET AL. 2001] und die entsprechenden Informationen bei Bedarf neu ermittelt und generiert werden müssen. Häufig liegen dadurch das Spezialwissen sowie die Erfahrung bezüglich der aktuellen Produktionsprozesse bei den Mitarbeitern in der Produktion vor, sie sind jedoch nicht oder nur in einem geringen Umfang für die Planung weiterer Projekte verfügbar.

Fazit

Für die Umsetzung einer effizienten integrierten Planung von hoher Qualität sind also neben den informationstechnischen Voraussetzungen insbesondere abteilungsübergreifende standardisierte Prozesse von zentraler Bedeutung. Einzelne Planungsbereiche verfolgen spezifische Zielsetzungen bei gemeinsamen Planungsprojekten. Unter Berücksichtigung der organisatorischen Zusammenhänge im Planungsablauf ist eine Harmonisierung der für die Schnittstellen relevanten Arbeitsabläufe und Planungsstrukturen notwendig. Gerade bei einer laufenden Produktion mit innovativen Prozessen, welche noch hohes Erfahrungs- und Verbesserungspotenzial aufweisen, sind Prozesse und Werkzeuge für einen fortlaufenden Abgleich von realer Produktion und Virtueller Produktion notwendig.

4.7.5 Partizipative interaktive Fabrikplanung

Strukturiert vernetzte Planungsabläufe und -werkzeuge können die Kommunikation zwischen Planern erleichtern, aber nicht ersetzen. Deshalb ist im Planungsverlauf eine enge Abstimmung der Beteiligten notwendig. Interaktive Planungsmedien, beispielsweise ein „Planungstisch“, ermöglichen, dass *„die Beschränkungen der Einzelarbeit aufgehoben werden können und mehrere Planer direkt parallel an einem Computer arbeiten ohne dies wahrzunehmen“* [WESTKÄMPER 2003]. Eine anschauliche Darstellung der Planung durch 3D-Abbildungen verbessert die Nachvollziehbarkeit einzelner Planungsschritte. In interdisziplinären Gruppen können auch Personen, die kein Spezialwissen hinsichtlich der Planungssysteme haben, einbezogen werden. Beispielsweise wird es so erleichtert, die Wissens- und Erfahrungsbasis von Mitarbeitern aus der Produktion zu nutzen. Dies erhöht die Planungssicherheit und steigert die Akzeptanz [WIRTH ET AL. 2001].

Fazit

Der Einsatz von interaktiven Medien für eine partizipative Fabrikplanung ist also in erster Linie daraufhin ausgelegt, neue Planungslösungen und -varianten anschaulich darzustellen und in größeren Gruppen gemeinsam mit den von der Planung betroffenen zu diskutieren. Im Hinblick auf die Zielsetzung einer standortübergreifenden Weitergabe von Optimierungslösungen ist der Ansatz der partizipativen Planung dahingehend zu erweitern, dass interaktive Medien vermehrt für den Abgleich zwischen realer Produktion und Virtueller Produktion und damit zur Qualitätssicherung von Planungsdaten genutzt werden. Die interaktiven Planungsmedien können dazu dienen, Maßnahmen der Prozessverbesserung, die im Verantwortungsbereich von Produktionsmitarbeitern liegen und von ihnen durchgeführt werden, in die Informationsbasis des Planungsprojektes einzupflegen.

4.8 Zusammenfassung und Gesamtfazit

4.8.1 Zusammenfassung

Während sich die kundenspezifische Entwicklung und Herstellung von technischen Produkten traditionell auf den Bereich von Investitionsgütern mit hohen Preisen konzentrierte, zeigt sich in Käufermärkten mit Sättigungstendenzen ein zunehmender Bedarf an kundenindividuellen Verbrauchsprodukten. Trotz einer

breiten Auswahl an verfügbaren Produktvarianten ist bei vielen Kunden eine Zahlungsbereitschaft für eine weitere Individualisierung vorhanden, bei der sie ihre Vorstellungen in die Entwicklung einbringen können. Ein nachhaltiger Wettbewerbsvorteil kann erzielt werden, wenn über die konventionelle Variantendiversifikation hinaus kundenspezifische technische Produkte angeboten werden.

Als abschließendes Fazit zu den im Stand der Forschung und Technik analysierten Ansätze lässt sich festhalten, dass für eine *Produktindividualisierung* sowie für eine *Produktion in Absatzmarktnähe* Konzepte mit jeweils eigenen Zielrichtungen entwickelt werden. Wesentliche Einflussgrößen für die derzeitige Produktindividualisierung sind die technische Komplexität des Produktes, die zu verarbeitenden Werkstoffe und damit verbunden die benötigten Produktionsressourcen sowie der prozentuale Anteil manueller bzw. industrieller Produktionsprozesse. Bestimmende Faktoren für eine Produktion in Absatzmarktnähe sind die Logistik, insbesondere bei einer bedarfsorientierten, kundenbezogenen Versorgung der Abnehmer, Transportaufwände für teure und empfindliche Produkte, Lohnkosten im Herstellungsland oder rechtliche und emotionale Markteintrittsbarrieren. In Abhängigkeit dieser Faktoren wird eine Bandbreite an unterschiedlichen Ausprägungen von Produktionskonzepten entwickelt und umgesetzt. In einem turbulenten Unternehmensumfeld sind Ansätze zur Steigerung der *Wandlungsfähigkeit* übereinstimmend Bestandteil von Unternehmensstrategien. Abbildung 24 zeigt auf, inwieweit die in Kapitel 4 genannten Ansätze die definierten Anforderungen bereits erfüllen.

Ansatz	erfüllt...									
	Produktindividualisierung	Technisch komplexe Produkte	Kundenintegration	Gezielte Bearbeitung großer gesättigter Märkte	Geografische Marktnähe	Fabriken mit hoher Reaktionsgeschwindigkeit	Geringe Bestände	Kurze Auftragsdurchlaufzeiten	Nutzung von Synergieeffekten	Erschließung von Kostensenkungspotenzialen
Mass Customization	●	○	◐	●	○	◐	●	◐	●	●
Kundenindividuelle technische Produkte	●	◐	●	○	◐	○	●	○	○	○
Individualisierung von Luxusgütern	●	◐	●	○	●	○	●	○	○	○
Fertigungssegmentierung	○	●	○	●	○	◐	●	●	◐	●
Das fraktale Unternehmen	○	●	○	●	○	●	●	●	◐	●
Die virtuelle Fabrik	○	●	○	●	○	◐	◐	◐	●	●
Netzwerke für Produktionsdienstleistungen	○	◐	○	◐	○	◐	●	◐	●	●
Produktionssysteme	○	◐	○	◐	○	◐	◐	◐	●	●
Completely Knocked Down	○	●	○	○	●	○	○	○	○	○
Einzelfertiger	●	○	●	○	●	○	●	○	○	○
Wenige verteilte Fabriken für die variantenreiche Serienproduktion	○	●	◐	●	◐	◐	●	◐	◐	●
Wandlungsfähige Produktion	◐	●	◐	●	◐	●	●	●	●	●
Mobile Produktion	○	●	○	◐	◐	●	◐	●	●	◐

○ nicht erfüllt, ◐ bedingt erfüllt, ● weitgehend erfüllt

Abbildung 24: Schwerpunkte aktueller Ansätze zur Produktionsstrukturierung

Defizite von Konzepten für die Produktion von individuellen Produkten bestehen darin, dass eine Herstellung technisch komplexer Erzeugnisse in hohen Stückzahlen mit industriellen Verfahren nicht umsetzbar ist. Während bei technischen Produkten Strategien der Variantendiversifikation zu einem hohen Grad verbreitet sind, fokussiert derzeit die industrielle Herstellung individueller Produkte in erster Linie nicht-technische Güter von geringer Komplexität. Die zur Produktdefinition notwendige intensive Kundeninteraktion erfordert Nähe zum Kunden, die derzeit in zeitlich begrenzten Aktionen realisiert wird [DORSCH & WALCHER 2004]. Ein vergleichsweise hoher Aufwand für den Transfer der Kundenwünsche zur Produktionsstätte und für die Auslieferung der kundenspezifischen Produkte sind nicht selten die Folge. Bei lokal ansässigen Handwerksbetrieben können Produkte geringer Komplexität gemeinsam mit dem Kunden spezifiziert werden, die Herstellung erfolgt in geringer Stückzahl mit handwerklichen Prozessen. Bei der Individualisierung von technisch komplexen Produkten ist festzustellen, dass die Preise weit über den Preisen vergleichbarer Serienprodukte liegen, da die Kostensenkungspotenziale einer industriellen Produktion dafür nicht erschließbar sind. Stückzahlbezogene Kostensenkungseffekte erfordern die Nutzung von Erfahrungseffekten und damit industrielle Produktionsprozesse. Um bei häufigen Planungsvorhaben, die durch ein turbulentes Umfeld begründet sind, Erfahrungseffekte systematisch zu berücksichtigen, ist ein bestmöglicher Abgleich zwischen der realen Produktion und ihrem Abbild in der Planung notwendig. Dies ist bei der konventionellen Planung aufgrund heterogener Planungsabläufe und -werkzeuge häufig schwierig umsetzbar.

Somit ist es derzeit nicht möglich, komplexe Produkte kundenindividuell zu produzieren und dabei industrielle Verfahren einzusetzen, um so die Produktionskosten, die Lieferzeit und die Komplexität in der Produktion auf einem dem der Serienproduktion vergleichbaren Niveau zu halten.

4.8.2 Gesamtfazit

Für ein wettbewerbsfähiges Modell der marktnahen Produktion individualisierter Produkte sind Eigenschaften von Handwerksbetrieben (enge Kundeninteraktion bei der Produktspezifikation, kurze Logistikwege zum Kunden) mit den Rationalisierungs- und Effizienzsteigerungspotenzialen der industriellen Produktion zu kombinieren. Derzeit in der Industrie etablierte Vorgehensweisen für Produktentwicklung, Produktion und Vertrieb sind nicht für die Herstellung kundenindi-

vidueller Produkte ausgelegt. Die Herstellung von Metall- und Kunststoffteilen, die den Ansprüchen an Gebrauchsprodukte genügen, erfordert bei den derzeit angewandten Prozessen aufwändige Werkzeuge und Produktionsanlagen, so dass für eine wirtschaftliche Produktion eine Mindeststückzahl an gleichen Teilen erforderlich ist. Daher liegen die Herstellkosten für individuelle Komponenten weit über den Kosten bei Serienfertigung.

Derzeitige Methoden für die Herstellung individueller Produktkomponenten werden nur für die Produktion kleinster Stückzahlen eingesetzt. Für eine Anwendung im industriellen Maßstab sind sie sowohl von technologischer Seite als auch bei der Einbindung in den Produktionsprozess weiter zu entwickeln. Die Produktionsressourcen für innovative, speziell auf die Fertigung kleinster Losgrößen ausgelegte Verfahren eignen sich dagegen aufgrund ihrer Verteilbarkeit und Skalierbarkeit für einen Einsatz bei der marktnahen Produktion (vgl. Abschnitt 4.2.3). Bei konventionellen Fertigungsprozessen der industriellen Serienproduktion werden Kostendegressionseffekte durch eine hohe Zahl an hergestellten gleichen Teilen wirksam. Im Vergleich zu derartigen Methoden sind für die Herstellung von individuellen Komponenten auch noch nach einer Weiterentwicklung der entsprechenden Fertigungsprozesse höhere Kosten zu erwarten. Dafür spricht vor allem die wesentlich längere Fertigungsdauer, die in dem schrittweisen Vorgehen der geeigneten Fertigungstechnologien begründet ist.

Auf der Ebene des Wertschöpfungssystems ermöglicht es das Prinzip der Produktindividualisierung jedoch, anderweitige Kostensenkungspotenziale auszuschöpfen, welche in erster Linie auf einer gezielten Bearbeitung von fragmentierten Märkten mit kurzfristig veränderlichen Anforderungen basieren.

5 Handlungsbedarf und Vorgehensweise

5.1 Handlungsbedarf

Um die im Vergleich zu etablierten industriellen Produktionsverfahren (vgl. Beispiele in Abschnitt 4.2.3) höheren Kosten zu senken, ist eine weitere Verbreitung der innovativen Prozesse notwendig. So können Erfahrungseffekte genutzt und bekannte Kostensenkungspotenziale erschlossen werden (vgl. Abschnitt 4.3). Einen wesentlichen Beitrag hierzu können eine umfangreiche Standardisierung, ein intensiver Erfahrungsrückfluss sowie integrierte Planungsprozesse leisten. In Verbindung mit den anderen Kostensenkungspotenzialen (vgl. Abschnitt 3.1) erlaubt dieses Vorgehen auf der Ebene des gesamten Wertschöpfungs-systems eine gezielte und damit erfolgreiche Bearbeitung fragmentierter Märkte [REICHWALD 2004].

Aus produktionsbezogener Sicht sind deshalb Strategien zur Senkung der Herstellkosten individueller Teile zu entwickeln (vgl. Abbildung 8). Es sind geeignete Produktionsverfahren zu identifizieren sowie Planungs- und Organisationsprinzipien zu entwickeln, welche künftig eine Senkung der Herstellkosten individueller Komponenten ermöglichen und eine marktnahe Produktion erlauben.

Für die marktnahe Produktion individualisierter Produkte werden Fabriken mit untereinander vergleichbaren Kernkompetenzen zur Fertigung individueller Komponenten benötigt. Bei der Planung von verschiedenen Varianten von markt-nahen Fabriken sind daher einerseits Synergieeffekte durch Gemeinsamkeiten zwischen einzelnen Fabriken zu nutzen, andererseits sind Freiräume zur Anpassung an Standort-spezifika notwendig. Diese Anforderungen wirken sich auf die Gestaltung der *Produktionsstruktur* aus. Um *Kostensenkungseffekte* der industriellen Produktion nutzen zu können, sind dezentral erarbeitete Prozessverbesserungen neben einer Umsetzung vor Ort in einer Weise zu dokumentieren, dass sie standortübergreifend genutzt werden können. Die Analyse des Standes von Forschung und Technik hat gezeigt, dass ein modularer Aufbau von Fabriken ein geeigneter Ansatz ist, um schnelle Neu- und Umplanungen in Fabriken durchzuführen. Eng verknüpft mit der Thematik von wandlungsfähigen Produktionsstrukturen ist die Entwicklung von geeigneten Prozessen und Werkzeugen für die *Produktionsplanung*. Diese müssen es erlauben, Rationalisierungspotenziale in der Produktion zugänglich zu machen und so die Effizienz zu steigern so-

wie die Kosten zu senken. Ansätzen für die Entwicklung von Strukturierungslösungen und zugehörigen Planungsmethoden für eine wandlungsfähige Produktion ist der Gedanke eines modular gestalteten Aufbaus von Produktionsstrukturen gemeinsam. Existierende Konzepte können daher als methodische Grundlage und Eingangsgröße genutzt werden. Es besteht dennoch ein Bedarf, bestehende Konzepte zu integrieren sowie einzelne Ansätze weiterzuentwickeln und um neue Aspekte zu ergänzen.

In den folgenden Unterabschnitten werden die Bereiche

- Produktionsstruktur,
- Kostensenkungseffekte sowie
- Planung

betrachtet (Abbildung 25). Dabei wird herausgestellt, welche Ansatzpunkte für eine zielgerichtete Weiterentwicklung sich im Einzelnen identifizieren lassen.

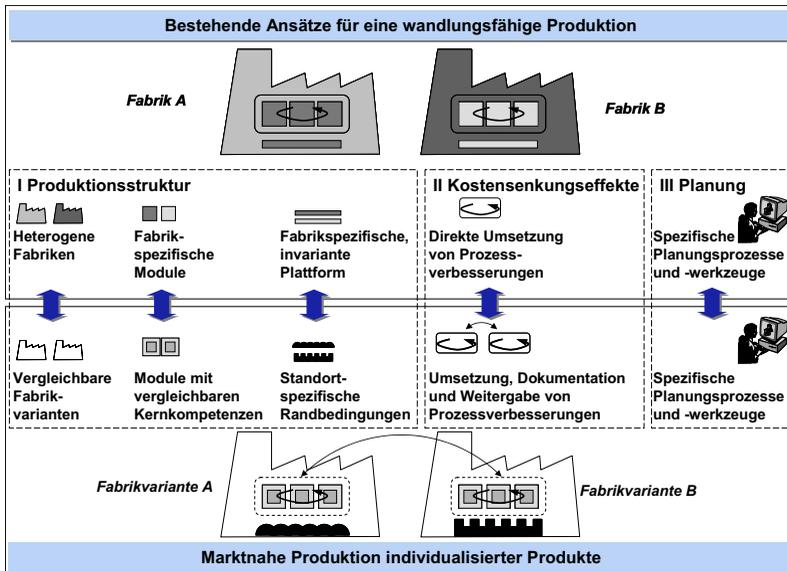


Abbildung 25: Abgrenzung von bestehenden Ansätzen und Handlungsbedarf für die vorliegende Arbeit

5.1.1 Produktionsstruktur

Ansätze zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit von Fabriken betrachten in erster Linie einzelne Fabriken oder einen Produktionsverbund von heterogenen Fabriken mit unterschiedlichen Rollen und Kernkompetenzen [SCHUH ET AL. 2004 B; NOFEN ET AL. 2003 B; EVERSHEIM & NEUHAUSEN 2001] (vgl. Block I in Abbildung 25). Die Forschungsvorhaben verfolgen dabei eine vergleichbare Gesamtzielsetzung mit folgenden Schwerpunkten:

- Durch einen modularen Aufbau von Produktionsstrukturen ist es möglich, Neu- und Umplanungen schnell durchzuführen, da erprobte, funktionierende Subsysteme zum Einsatz kommen können.
- Zudem erlaubt es eine geeignete Festlegung der Schnittstellen zwischen den Modulen, die Auswirkungen innerhalb der Fabrik gering zu halten, wenn an einem Modul Anpassungen notwendig werden oder ein Modul durch ein besser geeignetes zu ersetzen ist.

Ansatzpunkte

Für die Zielsetzung einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte sind die bekannten Ansätze spezifisch zu ergänzen. Wie in Kapitel 4 dargelegt wurde, bietet eine Produktion von individualisierten Teilen in unmittelbarer Nähe zum Absatzmarkt eine Vielzahl an Vorteilen. Hier sind unter anderem die gemeinsame Spezifikation mit dem Kunden oder die Reduktion von Transport- und Logistikaufwänden zu nennen. Marktnahe Produktion führt dazu, dass global verteilte Fabriken über vergleichbare Kernkompetenzen, Wertschöpfungsumfänge und folglich Ressourcen verfügen. Bei den marktnahen Fabriken handelt es sich somit um Varianten einer Grundfabrik. Bei der Konzeption vorkonfigurierter Fabrikmodule sind daher, abweichend von den vorliegenden Ansätzen, zwei Aspekte besonders hervorzuheben:

- Einerseits ist eine Gestaltung der Module anzustreben, die es erlaubt, Synergieeffekte aufgrund von Ähnlichkeit zwischen einzelnen Fabrikvarianten zu nutzen.
- Andererseits sind Gestaltungsfreiräume erforderlich, um Fabrikmodule standortspezifisch anzupassen, da wegen unterschiedlicher vorliegender Standortbedingungen nicht auf eine invariante Plattform zurückgegriffen werden kann.

Die Betrachtung einzelner Fabriken (mit invarianten Plattformen) und deren Veränderungstreiber sowie der Gedanke der Flexibilisierung und Weiterentwicklung werden auf einen Verbund vergleichbarer Fabriken ausgedehnt. Unterschiedliche Standortspezifika treten als zusätzliche Veränderungstreiber auf, die auf den Fabrikverbund einwirken und Adaptionen einzelner Fabriken erfordern.

5.1.2 Kostensenkungseffekte

Im Bereich der Fabrikorganisation hat sich gezeigt, dass zentral geplante und angestoßene Verbesserungsprozesse für ein turbulentes Unternehmensumfeld häufig zu langsam und zu starr sind [WILDEMANN 1988]. Zur Steigerung von Eigenverantwortung und Motivation setzt sich vermehrt eine partizipativ geprägte Mitarbeiterführung durch. Diese schließt eine Dezentralisierung der Verantwortlichkeit bei der Erarbeitung, Planung und Umsetzung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses ein [NOFEN ET AL. 2003 B]. So ist es möglich, wesentlich schneller und zielgerichteter auf die veränderlichen Anforderungen unter Einbeziehung des Mitarbeiterwissens zu reagieren und die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Produktion zu optimieren (vgl. Block II in Abbildung 25). Somit zeigt sich ein Zielkonflikt:

- Bei der Planung von zentral angestoßenen Verbesserungen können die Ergebnisse detailliert dokumentiert werden, bevor entsprechende Maßnahmen umgesetzt werden. Im turbulenten Unternehmensumfeld ist dieses Vorgehen häufig zu starr und zu träge, und es ist schwierig, auf spezifische Anforderungen an die Produktion kurzfristig zu reagieren.
- Eine Dezentralisierung der Verantwortung hingegen lässt schnelle Reaktionen zu. Ein Nachteil ist, dass häufig auch Prozesswissen oder die Information über den aktuellen Zustand von Produktionsressourcen und -prozessen nur dezentral verfügbar ist. Eine standortübergreifende Weitergabe gestaltet sich schwierig.

Ansatzpunkte

Die Herstellung individueller Produktkomponenten in direkter Nähe zum Absatzmarkt hat eine Aufteilung der Gesamtstückzahl auf unterschiedliche Standorte zur Folge. Dies hat Auswirkungen auf die Weiterentwicklung von Produktionsprozessen. Der Ansatz, die Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen im Verantwortungsbereich der Mitarbeiter in der Produktion zu positionieren, ist

daher zu erweitern. Ziel ist ein Vorgehen, welches die Dokumentation von Optimierungsmaßnahmen unterstützt. So können Erfahrungen unmittelbar in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess eingehen und umgesetzt werden, aber auch standortübergreifend an Fabriken mit analogen Kernkompetenzen weitergegeben werden.

5.1.3 Integrierte Planungsprozesse

Die Fabrikplanung erfordert bedingt durch ihre Komplexität sowohl eine sequenzielle als auch eine parallele Zusammenarbeit mehrerer Disziplinen (vgl. Block III in Abbildung 25). Bei bestehenden Fabrikplanungsprozessen fehlen häufig die durchgängige Weitergabe, der Abgleich und die Aktualisierung von logisch zusammengehöriger Information schon innerhalb eines Planungsvorhabens. Mit der Entwicklung von Werkzeugen der Digitalen Fabrik wird die Zielsetzung verfolgt, informationstechnische Inkompatibilitäten abzubauen. Bei zu unterstützenden Planungsprozessen liegt eine hohe Bandbreite an unterschiedlichen Anforderungen vor. Diese unterscheiden sich in Abhängigkeit der betrachteten Industriebranche und unter Umständen auch innerhalb eines Unternehmens teilweise erheblich. Heterogene, voneinander abgegrenzte Planungsprozesse in unterschiedlichen Projektphasen sind nicht selten die Folge. Eine aufwandsarme Weiter- und Wiederverwendung von Information wird dadurch erschwert.

Ansatzpunkte

Um bei häufigen Planungsvorhaben und bei gleichzeitiger Erstellung verschiedener Planungsalternativen mit aktueller Information zu arbeiten, ist es erforderlich, dass Aktualisierungen der Information für die betroffenen Disziplinen mit ihren spezifischen Sichtweisen aufwandsarm durchführbar sind. Hierfür werden integrierte Planungsprozesse sowie leistungsfähige digitale Werkzeuge zur Unterstützung dieser Prozesse entwickelt. Voraussetzung für integrierte Prozesse sind abteilungsübergreifend harmonisierte Planungsstrukturen und organisatorische Zusammenhänge. Eine umfangreiche virtuelle Abbildung der geplanten Produktion ermöglicht eine gute Abschätzung der realen Eigenschaften und somit einen schnellen Produktionsanlauf. Die Weiter- und die Wiederverwendung von Planungsdaten ermöglichen im Vergleich zu einer wiederholten Datengenierung eine Effizienzsteigerung im Planungsfortgang. Bei der Entwicklung von integrierten Planungsprozessen für die marktnahe Produktion individualisierter Produkte sind spezifische Teilaspekte besonders hervorzuheben:

- Eine modulare Strukturierung der Planungsinformation in Analogie zu einem modularen Fabrikaufbau ermöglicht die Nutzung von Synergieeffekten zwischen Planungsprojekten an verschiedenen Standorten sowie standortspezifische Anpassungen.
- Um Wissen über Verbesserungen in der Produktion auch an anderen Standorten nutzbar zu machen, ist bezüglich der entwickelten Maßnahmen neben ihrer Umsetzung in der Produktion auch ein systematisch durchgeführter Rückfluss von Information in die Planungsdaten notwendig. Neben transparenten Prozessen sind geeignete Mensch-Maschine-Schnittstellen für eine interaktive Eingabe von Information bereitzustellen.

Die Verwendung industrieller Produktionsprozesse sowie eine Fabrikplanung ausgehend von vorkonfigurierten Modulen mit standardisierten Produktionseinrichtungen leisten wichtige Beiträge dazu, die Herstellkosten bei der marktnahen Produktion individualisierter Produkte zu reduzieren. So erschließen industrielle Prozesse prinzipiell die Nutzung von Erfahrungseffekten. Vorkonfigurierte Module mit standardisierten Ressourcen und Prozessen schaffen eine Vergleichbarkeit zueinander und damit eine Voraussetzung zur Weitervermittlung von Optimierungsmaßnahmen. Für eine aufwandsarme Dokumentation und Weitergabe von Prozesswissen sind Prozesse und Werkzeuge zu erstellen. In ihrem Zusammenwirken tragen die genannten Ansätze dazu bei, stückzahlgebundene Effizienzsteigerungen in der Produktion trotz einer Aufteilung der produzierten Gesamtstückzahl auf mehrere Produktionsstätten zu nutzen.

5.2 Vorgehensweise

Im einleitenden ersten Kapitel wurden die strategischen Anforderungen an produzierende Unternehmen beschrieben. Der Fokus liegt dabei auf Unternehmen, die anspruchsvolle technische Produkte anbieten.

Kapitel 2 legte Begriffe, die in der thematisch angrenzenden Literatur uneinheitlich verwendet werden, für die vorliegende Arbeit eindeutig fest und grenzte den Betrachtungsraum ab. Der in der Arbeit betrachtete Begriff „Produktindividualisierung“ wird hier dadurch charakterisiert, dass der Kunde Produktkomponenten selbst gestaltet, anstatt unter vordefinierten Vorschlägen zu wählen („Produktdiversifikation“). Die Gattung der Industriebetriebe, die in dieser Arbeit behandelt wird, wurde von dem Bereich der Handwerksbetriebe abgegrenzt. Als relevante

Güter wurden technische Produkte identifiziert, die sich aus einer technischen Produktbasis und einem vom Kunden gestaltbaren Umfang zusammensetzen. Kapitel 2 endete mit der Darstellung der Abgrenzung zu bzw. Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen.

Kapitel 3 erläuterte die Problemstellung sowie die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit.

In Kapitel 4 wurde der Stand von Forschung und Technik dargestellt. Für die vorliegende Arbeit sind Ansätze bezüglich

- Individualisierung,
- Gestaltung der Produktion,
- Kostenentwicklung neuer Technologien,
- Produktionsstrukturen,
- Dezentralisierung,
- Wandlungsfähige Produktion und
- Prozessen und Werkzeugen der Fabrikplanung

relevant. Diese wurden hinsichtlich ihrer Bedeutung für die vorliegende Arbeit interpretiert. In Kapitel 4 wurden bestehende Prinzipien der Produktindividualisierung unter anderem auf die angebotene Produktart sowie die verwendeten Werkstoffe und Fertigungsverfahren hin untersucht. Verfahren, Technologien und Werkzeuge für die Verarbeitung der genannten Werkstoffgruppen Metall und Kunststoff zu Komponenten in kleinen Losgrößen wurden analysiert. Daran schloss sich die Identifikation von Produktionsverfahren an, die eine industrielle Fertigung der Komponenten in individueller Ausprägung zulassen und für welche die zugehörigen Produktionsressourcen durch kleine Kapazitätsquerschnitte gekennzeichnet sowie aus technologischer Sicht auf verschiedene Standorte verteilbar sind. Diese Technologien befinden sich derzeit in Entwicklung bzw. intensiver Weiterentwicklung. In einem nächsten Schritt wurde die Kostenentwicklung neuer Technologien unter Berücksichtigung von Lern- und Erfahrungseffekten aufgezeigt. Zudem wurde dargelegt, welche Einführungsstrategien für Innovationen sich bewährt haben. Es wurde dargestellt, inwieweit existierende Prinzipien der Produktionsstrukturierung und Fabrikplanung den Einsatz

innovativer Technologien und die Nutzung von Erfahrungseffekten an unterschiedlichen Standorten gezielt berücksichtigen. Ansätze für eine räumliche Dezentralisierung wurden analysiert, ebenso Prinzipien der wandlungsfähigen Produktion, welche die kurzlebigen Anforderungen an Produktionsunternehmen in einem turbulenten Umfeld berücksichtigt. Es schloss sich eine Analyse an, in welchem Umfang derzeitige Prozesse und Werkzeuge in der Lage sind, den analysierten Randbedingungen und Anforderungen in einem ausreichenden Maß Rechnung zu tragen.

Bei den in Kapitel 4 dargelegten Einzelinterpretationen sowie im Gesamtfazit zum Stand der Technik und Forschung wurde aufgezeigt, um welche Aspekte bestehende Ansätze zu erweitern sind, um ein Konzept zu erhalten, welches für die marktnahe Produktion individualisierter Produkte qualifiziert ist.

Im vorliegenden Kapitel 5 wurde der Handlungsbedarf aufgezeigt. Es wurde dargelegt, um welche Aspekte die bestehenden Ansätze zur Gestaltung von Produktionsstrukturen, die Methoden zur Nutzung von Kostensenkungseffekten sowie die Gestaltung von integrierten Planungsprozessen für die Zielsetzung dieser Arbeit spezifisch zu erweitern sind.

In Kapitel 6 wird ein Konzept für die industrielle Fertigung individualisierter Komponenten vorgestellt. Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt wurde, ist die Herstellung von individualisierten technischen Produkten mit den Methoden der aktuellen industriellen Produktion nicht wirtschaftlich umsetzbar. Auf der einen Seite sind auf dem Markt individualisierte Produkte verfügbar, die durch überwiegend manuelle Prozesse zu hohen Kosten hergestellt werden, auf der anderen Seite existieren vordefinierte Produkte, die mit technologisch optimierten und damit relativ kostengünstigen Prozessen der industriellen Produktion in hoher Stückzahl gefertigt werden. In Kapitel 6 ist daher zunächst zu bestimmen, wie die marktnahe Produktion individualisierter Produkte als Wertschöpfungssystem mit Elementen von Handwerksbetrieben und Industriebetrieben positioniert ist. In einem weiteren Detaillierungsschritt werden nur die Fertigungsbereiche für individuelle Produktkomponenten betrachtet. Es wird eine geeignete modulare Fabrikstruktur vorgestellt, die eine schnelle Konfiguration von marktnahen Fabriken zulässt. Der Aufbau und die Ausgestaltung von Fabrikmodulen sind dahingehend zu spezifizieren, dass seitens der Fabriken die Voraussetzungen für eine standortübergreifende Weitergabe von Erfahrungen vor-

handen sind, um so das Ausschöpfen von stückzahlgebundenen Kostensenkungseffekten der industriellen Produktion zu unterstützen. Zur Planung marktnaher Fabriken sowie zur Aufnahme, Dokumentation und Weitergabe von Prozesswissen ist eine Strukturierung von Planungsinformation, ein schematisches Planungsvorgehen sowie eine spezifische Konfiguration von Planungswerkzeugen aufzuzeigen.

In Kapitel 7 ist der wirtschaftliche Nutzen des in Kapitel 6 beschriebenen Konzepts aus produktionsbezogener Sicht zu betrachten. Dabei sind mehrere Stufen zu berücksichtigen. Im ersten Schritt wird innerhalb des Wertschöpfungsmodells der industriellen Fertigung individueller Produkte das Prinzip der marktnahen Produktion dem Konzept der Produktion in einem oder wenigen Werken gegenüber gestellt. Im zweiten Schritt wird untersucht, welcher Aufwand unternehmensintern notwendig ist, um die Potenziale der industriellen marktnahen Produktion individualisierter Produkte umzusetzen. Es wird aufgezeigt, inwieweit dieser interne Aufwand mit der in dieser Arbeit vorgestellten Vorgehensweise gegenüber derzeitigen Strukturierungs- und Planungsprinzipien gesenkt werden kann. In beiden Stufen der wirtschaftlichen Betrachtung werden die einzelnen Schritte mit Beispielen aus der Literatur bzw. Erfahrungswerten aus der Praxis belegt.

Kapitel 8 beschreibt die exemplarische Anwendung des Vorgehens für die Prozessgestaltung aus Kapitel 6 in einem gemeinsamen Projekt mit der Industrie. Basis dafür ist die vorgestellte Vorgehensweise zur Gestaltung und Integration von Planungsprozessen sowie deren Umsetzung, unterstützt durch digitale Werkzeuge.

Kapitel 9 fasst die vorliegende Arbeit zusammen und zeigt Möglichkeiten auf, im Konzept der marktnahen Produktion die Planungsvorgehen weiter zu detaillieren und Methoden und digitale Werkzeuge der beteiligten Disziplinen in ihrem Einsatz weiter zu qualifizieren und zu integrieren.

Die Struktur der vorliegenden Arbeit sowie die Vorgehensweise werden in Abbildung 26 ersichtlich.

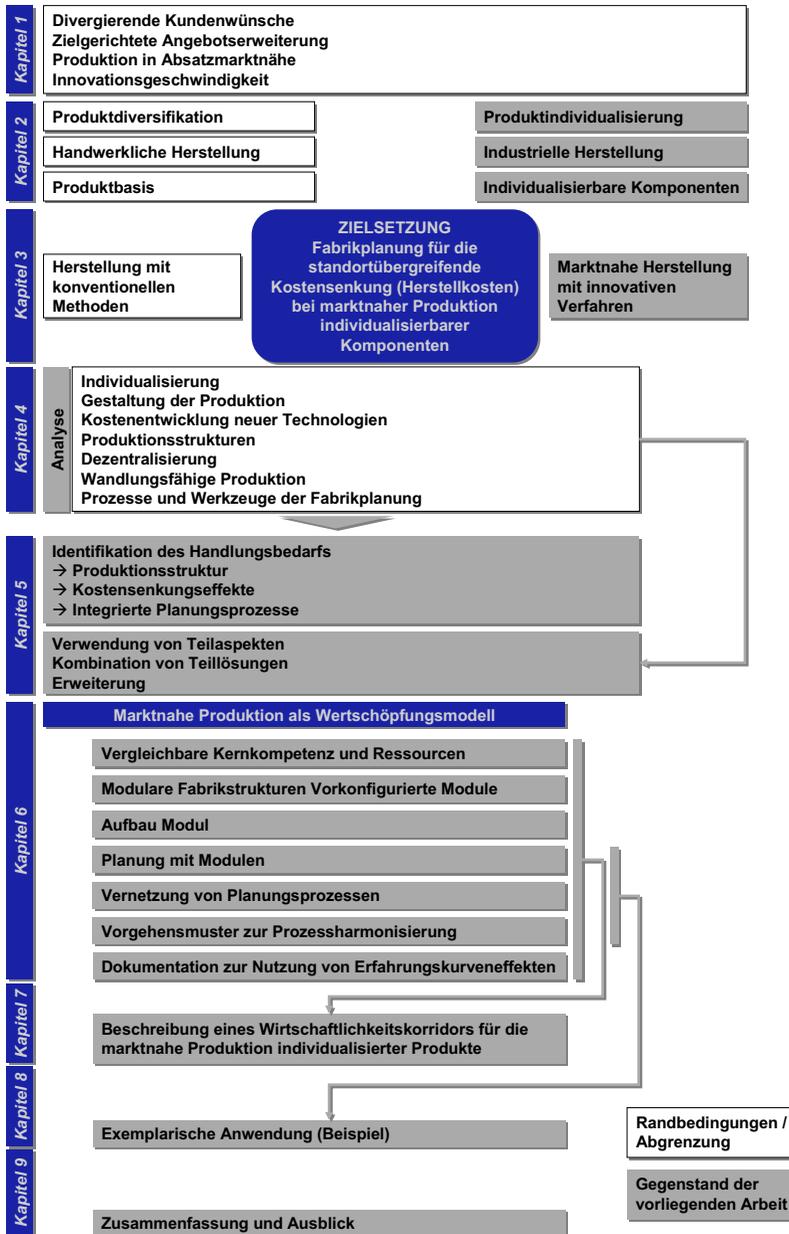


Abbildung 26: Struktur der Arbeit und Vorgehensweise

6 Marktnahe Produktion individualisierter Produkte

6.1 Allgemeines

In den einleitenden Kapiteln wurden die veränderten Bedingungen eines globalen Wettbewerbsumfeldes und die daraus resultierenden Anforderungen an produzierende Unternehmen wie Nachfrageindividualisierung auf gesättigten Märkten oder verkürzte Innovationszyklen bei gleichzeitig notwendigen Kostensenkungen aufgezeigt.

Die Betrachtung des Standes von Technik und Forschung macht deutlich, dass Industrieunternehmen zwar gezielt Strategien für eine verstärkte Kunden- und Marktorientierung sowie für eine marktnahe Produktion verfolgen. In Abhängigkeit von der Produktkomplexität können die Potenziale von Produktindividualisierung und marktnaher Produktion oft aber nur zum Teil ausgeschöpft werden. Ausgehend von den derzeit etablierten Produktionstechnologien für komplexe technische Produkte findet sich das Konzept einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte in einem Zielsystem mit konkurrierenden Zielen [HEINEN 1991] wieder (Abbildung 27). Gründe wie ein besseres Verständnis von Marktanforderungen, die Möglichkeit zur Gestaltung intensiver Kundeninteraktionsprozesse oder kurze Lieferzeiten sprechen für eine Produktion in direkter Nähe zu den Absatzmärkten (Kundenorientierung). Weitere Vorteile sind die Umgehung von Importsteuern und -zöllen sowie die Reduktion von Transport- und Logistikkosten. Darüber hinaus wird mit einer Produktion vor Ort in der Regel die Zielsetzung einer strategischen Markterschließung verfolgt. Bei der produktionsbezogenen Betrachtung stehen diesen Potenzialen in erster Linie technische Randbedingungen bzw. die damit verbundenen Kosten gegenüber.

Über neue Formen des Service oder ähnlichem hinaus kann die Einführung von Individualisierungsmöglichkeiten von Sachprodukten zur Umsetzung eines Wettbewerbsvorteils beitragen, da Potenziale der Kundenintegration vergleichbar mit der von Einzelfertigern zugänglich werden. Wie in Abschnitt 5.1 aufgezeigt, sind marktnahe Fabriken mit untereinander vergleichbaren Kompetenzen zur Fertigung individueller Teile notwendig. Aus produktionstechnischer Sicht zeigt sich der Bedarf, Methoden bereitzustellen, die eine räumlich verteilte Produktion komplexer individualisierter Produkte unter Verwendung industrieller Prozesse möglich machen.

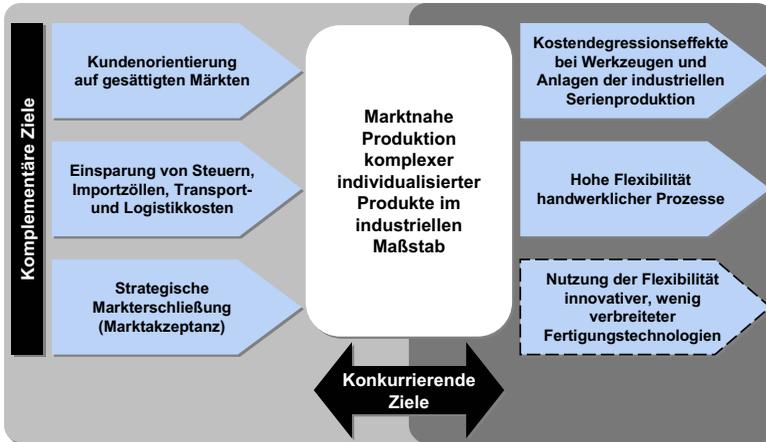


Abbildung 27: Komplementäre und konkurrierende Ziele bei der marktnahen Produktion individualisierter Produkte

6.2 Konzept

6.2.1 Marktnahe Produktion als Wertschöpfungsmodell

Bei der Abgrenzung zwischen „Industriebetrieb“ und „Handwerksbetrieb“ werden tendenzielle Unterscheidungsmerkmale wie die Anzahl der Mitarbeiter, die Anonymität bzw. Spezifität des Abnehmermarktes, die Anlagenintensität oder der Grad an Handarbeit bzw. Maschinenarbeit genannt [HEINEN 1991]. Mit den in den vorangegangenen Abschnitten identifizierten Anforderungen lässt sich herleiten, dass bei einer zielgerichteten Weiterentwicklung von Produktionskonzepten die Grenzen bei der klassischen Kategorisierung von produzierenden Betrieben teilweise aufzulösen sind. Die komplexen und kurzfristig veränderlichen Anforderungen, die auf Unternehmen einwirken, erfordern eine Kombination von Merkmalen produzierender Unternehmen unterschiedlicher Kategorien.

Marktnahe Fabriken für individualisierte Produkte zeichnen sich einerseits durch Merkmale aus, die klassischerweise dem Industriebetrieb zuzuordnen sind, beispielsweise industrielle, automatisierte Produktionsprozesse (weniger Handarbeit) oder eine systematische Anwendung wissenschaftlicher Methoden. Andererseits verfügen sie über Merkmale, die typischerweise mit Handwerksbetrieben assoziiert werden wie einen nicht-anonymen Abnehmermarkt oder eine hohe Fertigungstiefe. Fabriken für eine marktnahe Produktion setzen Zielsetzungen von

Handwerksbetrieben mit industriellen Prozessen um und machen so Kostensenkungspotenziale der industriellen Produktion zugänglich. Unterschiedliche äußere Einflüsse auf Unternehmen sowie spezifische Wettbewerbsstrategien haben zu einer unüberschaubaren Vielfalt an Ausprägungen produzierender Industriebetriebe geführt. Abbildung 28 zeigt ein Portfolio, in welchem eine Systematisierung von Produktionsprinzipien nach den für die vorliegende Arbeit relevanten Kriterien

- Marktnähe,
- Individualisierung und
- Produktkomplexität

dargestellt ist.

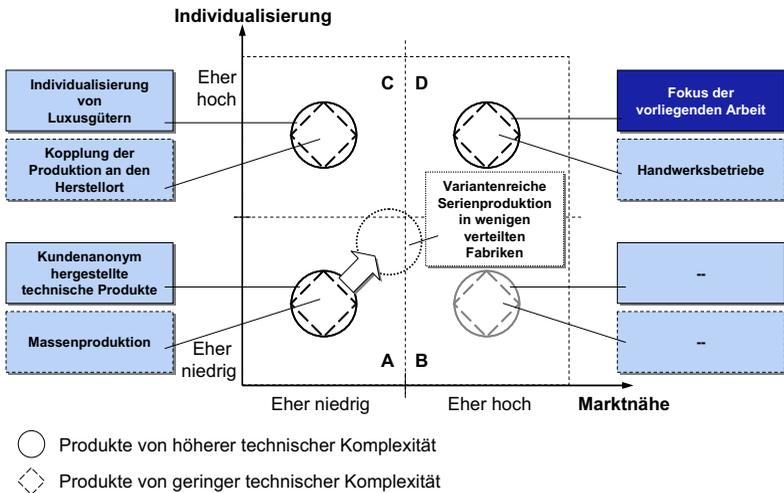


Abbildung 28: Positionierung des Wertschöpfungsmodells der marktnahen Produktion individualisierter Produkte

Im Folgenden werden für spezifische Kombinationen der Systematisierungskriterien typische Ausprägungen der Produktion beschrieben. Auf dieser Basis wird

das Konzept der marktnahen Produktion individualisierter Produkte relativ zu den anderen Prinzipien positioniert.

Der *Quadrant A (Niedrige Marktnähe und niedrige Produktindividualisierung)* charakterisiert im Sinne der vorliegenden Arbeit die Produktion von *kundenanonymen Standardprodukten in einer zentralen Produktionsstätte*.

- Für den Fall von Produkten mit geringer technischer Komplexität (z. B. Schrauben) kommen bei diesen Bedingungen Prinzipien der Massenproduktion zum Einsatz. Im Vordergrund steht hier die Nutzung von hocheffizienten, in der Regel automatisierten Produktionsprozessen. Der Kapitalaufwand für die notwendigen industriellen Produktionsressourcen trägt zur Motivation einer Bündelung der Produktionsaktivitäten an einem Herstellort bei.
- Bei Produkten von höherer technischer Komplexität wird eine Herstellung von kundenanonymen Standardprodukten in einer zentralen Produktionsstätte umgesetzt, wenn der Aufwand für Verpackung, Transport etc. verhältnismäßig einfach beherrschbar ist (z. B.: Haushaltsgeräte). In Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen sind unterschiedliche Kriterien für die Wahl des Produktionsstandorts entscheidend. Zeichnet sich die Herstellung der Produkte beispielsweise durch einen hohen Anteil manueller Prozesse aus, so wird häufig eine Produktion an einem Standort, an dem ein niedriges Lohnniveau vorliegt, realisiert.

Der *Quadrant B (Hohe Marktnähe und niedrige Produktindividualisierung)* repräsentiert nach den vorliegenden Systematisierungskriterien eine Produktion von *kundenanonymen Standardprodukten in einer Vielzahl an Produktionsstätten in unmittelbarer Absatzmarktnähe*. Eine Umsetzung derartiger Produktionsprinzipien wird in der Praxis beispielsweise durch folgende Gründe erschwert (vgl. vorangegangene Passage):

- Sowohl bei Standardprodukten von geringer technischer Komplexität als auch bei
- technisch komplexen Produkten überwiegen in der Regel die Vorteile einer Bündelung von Ressourcen oder auch die Nutzung von einem niedrigen Lohnniveau, wenn die Herstellung einen hohen Anteil an manuellen Prozessen erfordert.

In *Quadrant C* (*Niedrige Marktnähe und hohe Produktindividualisierung*) ist die Herstellung von *kundenspezifischen Produkten* in einer *zentralen Produktionsstätte* angesiedelt.

- Die Herstellung von technisch einfachen Produkten, welche nach der Begriffsfestlegung der vorliegenden Arbeit „individualisiert“ sind, erfolgt in einer zentralen Produktionsstätte, wenn die Produktion an spezifische Bedingungen des Herstellortes gekoppelt ist. Bei einer Produktion, die durch überwiegend manuelle Prozesse gekennzeichnet ist (beispielsweise Maßkonfektion von Kleidung), kann beispielsweise eine Zuordnung zu einem Produktionsstandort mit einem niedrigen Lohnniveau bestehen. Neben monetären Gründen kann eine Produktion an einem ausgewählten Standort beispielsweise auch durch traditionelle oder regionale Besonderheiten bedingt sein.
- Eine Herstellung von technisch komplexen, kundenspezifischen Produkten an einem zentralen Standort ist beispielsweise bei der Individualisierung von Luxusgütern zu beobachten (vgl. Abschnitt 4.1.3). Da hier die derzeit etablierten Fertigungsprozesse der Serienproduktion wenig geeignet sind, zeichnet sich diese Art der Produktion durch einen hohen Anteil an handwerklichen Prozessen aus. Die notwendige Bündelung von Expertenwissen und handwerklichen Fähigkeiten der Mitarbeiter trägt zur Motivation einer Fertigung an einem zentralen Standort bei. Aufgrund der Produktpositionierung in Marktsegmenten, die durch hohe Preise gekennzeichnet sind, kann auch der Aufwand für eine gegebenenfalls weltweite Belieferung der Kunden von einem zentralen Standort aus in Kauf genommen werden.

In *Quadrant D* (*Hohe Marktnähe und hohe Produktindividualisierung*) sind Wertschöpfungsprinzipien einer *marktnahen Produktion individualisierter Produkte* positioniert.

- Produkte von geringer technischer Komplexität werden in diesem Fall, wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, typischerweise von Einzelfertigern unter Nutzung von überwiegend manuellen Produktionsprozessen hergestellt.

- Die marktnahe Produktion individualisierter Produkte von höherer technischer Komplexität liegt im Fokus der vorliegenden Arbeit.

Bei den Ansätzen der *variantenreichen Serienproduktion* komplexer Produkte in wenigen verteilten Fabriken können eine erhöhte Marktnähe sowie eine gesteigerte Kundenorientierung bereits zum Teil realisiert werden. Mit einer Produktion in *Hauptabsatzmarktnähe* ist es möglich, die Vorteile einer marktnahen Produktion zumindest für einen Großteil der hergestellten Produkte auszuschöpfen. Strategien einer umfangreichen Variantendiversifikation eröffnen dem Kunden die Möglichkeit, aus einem breiten Angebot vordefinierter Produktvarianten zu wählen.

Die marktnahe Produktion individualisierter Produkte im industriellen Maßstab verbindet eine Produktindividualisierung unter Einbeziehung des Kunden mit einer industriellen Serienproduktion. Das Konzept vereint somit Merkmale der variantenreichen industriellen Serienproduktion komplexer Güter sowie der Herstellung einfacher individueller Produkte durch Einzelfertiger.

6.2.2 Kernkompetenzen marktnaher Fabriken

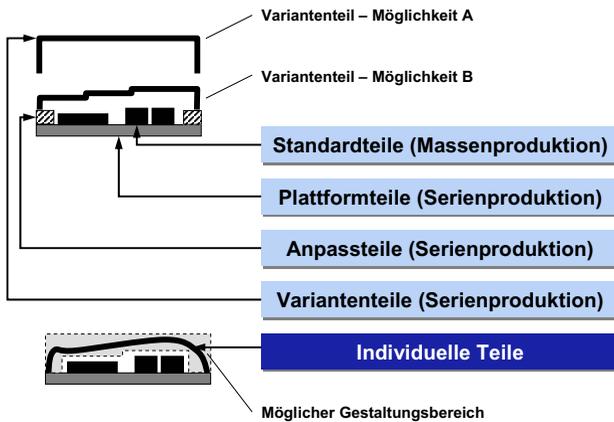
Mit der vorangegangenen Positionierung der marktnahen Produktion individualisierter Produkte lassen sich nun die Kernkompetenzen marktnaher Fabriken und damit Differenzierungsmerkmale zu bestehenden Konzepten der variantenreichen Serienproduktion spezifizieren. Alle Fabriken müssen in der Lage sein, wie Einzelfertiger individualisierte Produkte für den Endkunden herzustellen. Die Verwendung von industriellen Prozessen und der damit verbundene intensive „*Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad*“ ([HEINEN 1991], vgl. Abschnitt 2.2.1) auch für die Fertigung individueller Produktkomponenten erschließen dabei eine Nutzung von *Erfahrungseffekten* (vgl. Abschnitt 4.3.5). Diese beziehen sich, anders als personengebundene *Lerneffekte*, auf ganze Produktionssysteme. Damit stückzahlgebundene Kostensenkungspotenziale der industriellen Produktion trotz einer Aufteilung der hergestellten Gesamtstückzahl auf zahlreiche Produktionsstätten genutzt werden können, sind industrielle Prozesse einzusetzen, welche an allen Standorten den gleichen Standards entsprechen. Dies unterstützt die Weitergabe und Anwendung von Wissen hinsichtlich der Erfahrungen aus der Produktion.

Eine von Grund auf kundenspezifische Entwicklung ist bei technischen Gebrauchsprodukten hinsichtlich Zeit- und Kostenaufwand nicht beherrschbar.

Die Adaption von Produkten nach Kundenwünschen findet ausgehend von einem vorgeplanten Produktspektrum mit einem vordefinierten, technischen Bereich statt [LINDEMANN & PONN 2004], welcher vom Kunden nicht zu verändern ist. Die vom Kunden spezifizierten individuellen Produktumfänge werden aus Zeitgründen und zur Vereinfachung der Logistik vor Ort produziert und gemeinsam mit auftragsneutralen Komponenten zum individualisierten Produkt ergänzt. Freiheitsgrade bei der Individualisierung von technischen Gebrauchsprodukten sind in erster Linie bei der Geometrie, bei der Werkstoffwahl oder bei der Oberflächenbeschaffenheit des Gehäuses oder der Bedienteilen vorhanden. Die kundenspezifische Fertigung derartiger Produktkomponenten wird in der vorliegenden Arbeit fokussiert. Die Komplexität der zugeordneten Gesamtprodukte sowie deren Strukturierung nach kundenneutralen und kundenindividuellen Produktbereichen macht es erforderlich, für das Modell der marktnahen Fabriken Elemente der variantenreichen Serienproduktion zu übernehmen. Abbildung 29 zeigt die Abgrenzung des Konzepts der Produktindividualisierung in marktnahen Fabriken, verglichen mit der Produktdiversifikation der variantenreichen Serienproduktion. In beiden Fällen beinhalten die Produkte Komponenten, die als *Standardteile* ausgeführt sind. Beispiele hierfür sind technische Basiselemente wie Elektromotoren oder Transistoren. Standardteile können nicht vom Kunden gestaltet werden, bestimmen aber unter Umständen die Randbedingungen der Individualisierung (beispielsweise zwingend benötigten Bauraum). Die Herstellung derartiger Basiselemente erfolgt nach konventionellen Prinzipien und Technologien und wird in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet. Bei der Produktstrukturierung für variantenreiche Produkte werden Baukastenprinzipien angewandt. Dabei kommen firmen- bzw. produktspezifisch Plattformteile (beispielsweise Bodengruppen) zum Einsatz. Zur Konfiguration einer kundenspezifischen Produktvariante innerhalb eines vordefinierten Produktprogramms kann der Kunde *Variantenteile* zusammenstellen (z. B.: Auswahl der vorgegebenen Komponenten A oder B in Abbildung 29). Gegebenenfalls ist für die Realisierung der gewünschten Produktvarianten die Verwendung von so genannten *Anpassteilen* notwendig, wobei diese die spezifischen Umfänge mit den Plattformen verbinden [KLAUKE ET AL. 2002].

Über eine vergleichbare Produktstruktur verfügen individualisierbare Produkte [LINDEMANN & PONN 2004]. Entscheidendes Unterscheidungsmerkmal ist die zusätzliche Verwendung von individuellen Teilen (Abbildung 29). Seitens der Pro-

Produktentwicklung wird im Rahmen des vordefinierten Produktspektrums ein möglicher Gestaltungsbereich definiert. Dieser kann durch Randbedingungen wie beispielsweise erforderliche Bauräume eingegrenzt sein. Innerhalb dieses Gestaltungsbereichs können spezifische Produktausprägungen nach Kundenspezifikation festgelegt werden. An dieser Stelle soll die industrielle Produktion der individualisierten Komponenten näher betrachtet werden.



	Standard-teile	Plattform-teile	Anpass-teile	Varianten-teile	Individuelle Teile
Produkt- diversifikation	●	●	◉	◉	○
Produktindi- vidualisierung	●	●	○	○	◉

○ finden kaum Verwendung ◉ finden bedingt Verwendung ● finden Verwendung

Abbildung 29: Klassifizierung von Produktkomponenten zur Abgrenzung der Produktdiversifikation von der Produktindividualisierung

Aufgrund einer Vielfalt an Abhängigkeiten zwischen der Produktentwicklung, der Produktionsplanung und der Gestaltung der Produktionsanlagen [GRUNWALD

2002] kann der Zuwachs an Bedeutung bei den individuellen Teilen zu erheblich veränderten Anforderungen bei der Gestaltung von Produktionssystemen führen. Während bei der variantenreichen Serienproduktion unter Umständen Anpassteile notwendig sind, um technisch notwendige Plattformelemente mit den vom Kunden gewünschten Variantenteilen zu verbinden, bieten individuelle Teile dank einer umfassenden Vorausplanung des Produktspektrums [LINDEMANN & BAUMBERGER 2004] Freiheitsgrade und Gestaltungsmöglichkeiten zur Reduktion der benötigten Anpassteile.

In den folgenden Abschnitten wird beschrieben, wie Produktionsstätten für individualisierte Produkte strukturiert sind. Ebenso wird die Ausgestaltung der Produktionsbereiche im Zusammenspiel mit dem vorausgeplanten Produktspektrum behandelt.

6.3 Fabriken für die marktnahe Produktion

6.3.1 Modulare Fabrikstrukturen für die marktnahe Produktion

Wie in Abschnitt 4.8 aufgezeigt wurde, sind für eine marktnahe Fertigung von Produktkomponenten nach Kundenwunsch mehrere Produktionsstätten mit untereinander vergleichbaren Kernkompetenzen erforderlich. Um im Verbund aus vernetzten Fabriken Synergieeffekte zwischen einzelnen Fabriken umsetzen zu können, ist aus Sicht der Fabrikplanung eine größtmögliche Vergleichbarkeit der Fabriken notwendig. Gleichzeitig ist vorzusehen, dass einzelne Fabriken standortspezifisch anpassbar sowie in der Lage sind, kundenspezifische Produkte herzustellen. Eine Vervielfältigung einer einheitlichen Standardfabrik würde zwar die Vergleichbarkeit der Fabriken gewährleisten, wäre jedoch hinsichtlich der Berücksichtigung spezifischer Standortbedingungen und Anpassbarkeit im Verlauf des Fabriklebenszyklus nicht ausreichend.

Wie in Kapitel 4 beschrieben, lösen im Bereich der Fabrikplanung Prinzipien der Modularisierung vermehrt konventionelle Konzepte ab, die durch ein hohes Maß an Iterationen gekennzeichnet sind. Die verfolgten Ziele sind hier in erster Linie

- die Steigerung von Übersichtlichkeit und Transparenz von Abläufen in der Fabrik (Abbildung 17 [WILDEMANN 1988]) oder
- die Möglichkeit, in einzelnen Fabriken Änderungen vorzunehmen, ohne dass dies weitreichende Anpassungen erforderlich macht (vgl. [SCHUH ET AL. 2003 B]).

Für die Verfolgung der Zielsetzung, bei der Generierung einer Bandbreite an Varianten eines Grundkonzepts einerseits von Synergieeffekten zu profitieren, andererseits Raum für Anpassungen bereitzustellen, haben sich ebenfalls Konzepte der Modularisierung bewährt. Es existieren unterschiedliche Darstellungsweisen, um den Aufbau von Fabriken auf einem abstrakten Niveau schematisch darzustellen. Weit verbreitet sind (vgl. Abbildung 30) Darstellungsformen wie beispielsweise das *Strukturschema der Fabrik* (siehe bspw. [REINHART ET AL. 2003 A]). Es beschreibt die reale Produktion mit den Bestandteilen Betriebsmittel, Gebäude und Mensch. Die Produktion wird dabei durch Ein- und Ausgangsgrößen charakterisiert. Die Strukturbeschreibung nach dem Prinzip der *Selbstähnlichkeit* [WARNECKE 1993] charakterisiert Fabriken, bei denen nicht nur die gesamte Fabrik, sondern über Hierarchien hinweg auch ihre einzelnen Bestandteile auf selbstständiges und unternehmerisches Handeln hin ausgerichtet sind (vgl. Abschnitt 4.4.5). Bei der Strukturierung und Planung von Fabriken werden die herzustellenden Produkte, die dafür erforderlichen Prozesse und die notwendigen Ressourcen *integriert betrachtet*. Wie in den vorangegangenen Abschnitten dargelegt, eignen sich *Baukasten*prinzipien mit ihren Hierarchien auch bei der Fabrikgestaltung für eine strukturierte Ablage und damit zur systematischen Unterstützung der Mehrfachverwendung von Teillösungen. Teilaspekte der einzelnen Ansätze sind miteinander zu verknüpfen (Abbildung 30).

Die Anwendung von Modularisierungsprinzipien in Verbindung mit Baukastenstrategien für die Entwicklung marktnaher Fabriken ermöglicht es, die Aspekte der Anpassbarkeit von Fabriken sowie eine Variantengenerierung, vergleichbar mit Vorgehensweisen bei der Produktentwicklung, gleichermaßen zu berücksichtigen. Der Modularisierungsgedanke in der Fabrikplanung ist daher insbesondere um die Mehrfachverwendung von erprobten Lösungen und die daraus ableitbaren Synergieeffekte zu erweitern. Die Zielsetzung, Prozessoptimierungen standortübergreifend weiterzugeben, macht es erforderlich, dass an unterschiedlichen Produktionsstandorten vergleichbare Bedingungen hinsichtlich eingesetzter Pro-

duktionsprozesse und -ressourcen vorliegen. Um Schritte der Standardisierung (vgl. Abschnitt 4.3.8) umsetzen zu können, ist bereits bei der Planung eine Vereinheitlichung von Merkmalen und Verfahrensweisen (vgl. [LETMATHE 2002]) anzustreben. Hierfür wird die Einteilung nach „elementaren“ und „konfigurierten“ Bausteinen aus der Baukastentheorie (vgl. Abschnitt 4.4.3) übernommen. Diese dient zur Herleitung eines modular strukturierten Aufbaus der Produktion für den spezifischen Anwendungsfall marktnaher Fabriken.

In Abbildung 30 ist der Aufbau marktnaher Fabriken schematisch dargestellt. Bereiche der gegebenenfalls vorhandenen konventionellen Fertigung bzw. der Montage werden in der vorliegenden Arbeit nicht näher betrachtet. Fabrikbestandteile zur Fertigung individueller Produktkomponenten sind in Abbildung 30 schematisch als Module dargestellt, welche elementare (dunkelgrau) und konfigurierte Umfänge (hellgrau) enthalten. Elementare Bausteine stehen beispielsweise für Produktionsressourcen mit Werkzeugen und zugeordneten Steuerungs- und Automatisierungslösungen. Hier können Methoden der Standardisierung und Ansätze einer standortübergreifenden Weitergabe von Optimierungslösungen greifen. Mit ihrem Aufbau als konfigurierte Bausteine enthalten die dargestellten Module darüber hinaus Raum für Anpassungen (hellgrau dargestellt in Abbildung 30). Nach einer Charakterisierung der Aufgaben von Modulen in diesem Abschnitt befindet sich eine detaillierte Beschreibung von Aufbau, Art und Größe von Modulen für marktnahe Fabriken in den folgenden Abschnitten.

Wie beim Strukturschema der Fabrik ist die modular aufgebaute marktnahe Fabrik unter anderem durch ihre Ein- und Ausgangsgrößen charakterisiert. Dieser Aufbau wird nach dem Prinzip der Selbstähnlichkeit auf einzelne Module herunterskaliert. Die Charakterisierung von Modulen durch ihre Ein- und Ausgangsgrößen (beispielsweise einzelne Produktkomponenten, die in internen Kunden-Lieferanten-Beziehungen weitergegeben werden) unterstützt eine Entkoppelung gegenseitiger Wechselwirkungen und trägt zur Reaktionsfähigkeit von Fabriken bei. Damit umfasst die Modularisierung von Fabrikstrukturen die Betriebsmittel, die technologischen Produktionsprozesse sowie die Tätigkeiten der Mitarbeiter (vgl. auch die schrittweise Entflechtung von weitreichenden Arbeitsgruppen bei DaimlerChrysler zur Steigerung der Reaktionsfähigkeit [ETSPÜLER 2000]).

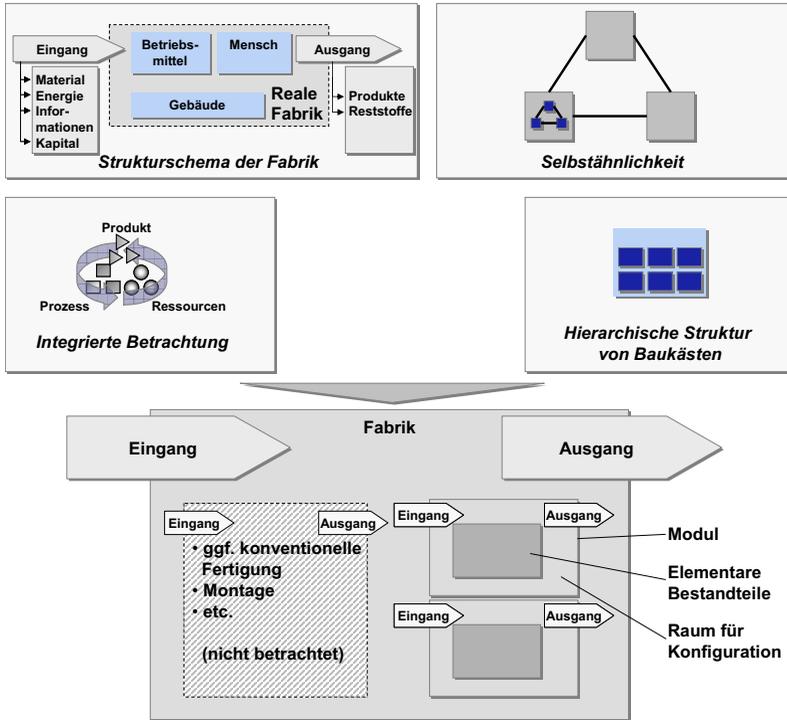


Abbildung 30: Ableitung der Struktur von Fabrikmodulen zur Fertigung individueller Produktkomponenten in marktnahen Produktionsstätten

Ein einzelnes Modul umfasst eigene Bearbeitungstechnologien und führt definierte Bearbeitungsstufen durch. Im hier betrachteten Fall wird die Fertigung von individuellen Produktkomponenten unter Einsatz der in Unterabschnitt 4.2.3 beschriebenen innovativen Verfahren fokussiert. Hinsichtlich der Bearbeitungstechnologie sind Module eigenständig: Alle zwingend notwendigen Bearbeitungsschritte werden im Modul durchgeführt. Über die Ein- und Ausgangsgrößen beim Materialfluss ist ein Modul in interne Kunden-Lieferanten-Beziehungen eingebunden. Durch die eindeutige Abgrenzbarkeit einzelner Produktionsschritte und damit einzelner Module zueinander ist es möglich, bei der Fabrikplanung mit Bibliothekslösungen aus vorkonfigurierten Modulen zu arbeiten, die für unterschiedliche Projekte einsetzbar sind. Der Aufbau und die Ausgestaltung der Mo-

dule werden in den beiden nächsten Abschnitten vorgestellt. Dabei sind die im Folgenden genannten Anforderungen zu erfüllen:

- **Parallelisierung**

Die Entwicklung von Modulen für unterschiedliche Bearbeitungstechnologien kann parallel stattfinden. Hierfür ist die eindeutige Festlegung von Schnittstellen und deren Eigenschaften notwendig. Technologispezifische Eigenschaften oder Änderungen während der Entwicklung haben keine Wechselwirkung auf andere Module

- **Vergabe der Planung an Partner**

Die Planung von Modulen muss an Partner vergeben werden können, die sich auf einzelne Produktionstechnologien spezialisieren können.

- **Verkürzung der „Lieferzeit“ mit Hilfe von Modularisierung**

Sind einzelne Module fertig geplant, so können sie in Bibliotheken abgelegt und für nachfolgende Projekte zugänglich gemacht werden. Wie bei modular aufgebauten Produkten (vgl. [SCHENK ET AL. 2001]) kann damit die Zeit für die Planung und Ausarbeitung reduziert werden.

- **Generieren von Varianten**

Die Kombination alternativer Module lässt es zu, unterschiedliche Lösungsvarianten zu generieren und dabei die Unsicherheiten, die mit grundlegend neu entwickelten Lösungen verbunden sind, zu umgehen.

6.3.2 Aufbau eines Moduls

Aus den notwendigen vergleichbaren Kernkompetenzen von marktnahen Fabriken und der Zielsetzung, Erfahrungen standortübergreifend weiter zu geben, lassen sich an die Gestaltung vorkonfigurierter Module Anforderungen ableiten, die über bestehende Ansätze hinaus gehen. Einerseits sind möglichst viele gleiche Elemente zu verwenden. Andererseits muss es möglich sein, weltweit verteilte Fabriken zu planen und zu betreiben und die einzelnen Fabriken an die vorliegenden Bedingungen eines betrachteten Standortes zu adaptieren.

Deshalb wird bei der modularen Gestaltung marktnaher Fabriken die Struktur konfigurierter Bausteine [NASVYTIS 1953; KOHLHASE 1997] umgesetzt. Die Struktur der Module und ihrer untergeordneten Submodule entspricht dem Aufbau von

konfigurierten Bausteinen, die elementare Bausteine enthalten (Abbildung 31). Die elementaren Bausteine können zwar in ihrer Anordnung modifiziert werden, sie selbst erfordern jedoch keine Anpassung an den spezifischen Anwendungsfall. Im fokussierten Fall der Fertigung individualisierbarer Produktkomponenten sind diejenigen Bestandteile des Produktionssystems elementare Bausteine, die unmittelbar für die Produktion zuständig sind. So sind Produktionsressourcen, die unmittelbar den Produktionsprozess betreffen, wie beispielsweise Anlagen für die innovativen Fertigungsverfahren, Betriebsmittel und Werkzeuge, in allen marktnahen Fabriken nach standortübergreifenden Standards ausgelegt. Durch Standardelemente liegen vergleichbare Bedingungen vor. Ein kumulatives Lernen durch ständige Prozesswiederholung wird unterstützt. Der Aufbau in Form konfigurierter Bausteine ermöglicht standortspezifische Anpassungen. Zusätzlich existieren Gestaltungsfreiräume wie die mögliche Anbindung des Fabrikmoduls an das Materialflusssystem mittels Handhabungsroboter oder Mitarbeiter.

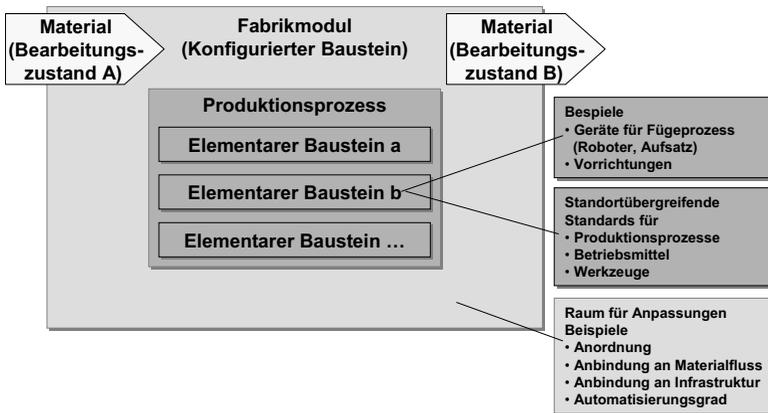


Abbildung 31: Produktionsstrukturierung nach dem Prinzip konfigurierter Bausteine

6.3.3 Umfang vorkonfigurierter Module für die Fabrikstrukturierung

In Kapitel 4 wurden die prinzipiellen Vorteile einer modularen Gestaltung von Produktionsstrukturen identifiziert. Aus einem modularen Aufbau von Produktionsstätten ohne nähere Spezifikation von Art und Umfang einzelner Module las-

sen sich Aussagen bzgl. der Wandlungsfähigkeit der Produktion nicht in einem ausreichenden Maße ableiten. Mögliche Grenzen von Modulen hängen zu einem großen Teil von der praktischen Teilbarkeit und Skalierbarkeit der betrachteten Produktionseinrichtungen ab. Da bei konventionellen Fertigungsverfahren, beispielsweise für die Blechumformung, häufig mehrere aufeinander folgende, voneinander abhängige Fertigungsschritte notwendig sind (Abbildung 32), bestehen Wechselwirkungen zwischen einzelnen Stationen. Die zugehörigen, häufig auch technisch verketteten Ressourcen sind nicht sinnvoll skalierbar oder räumlich verteilbar.

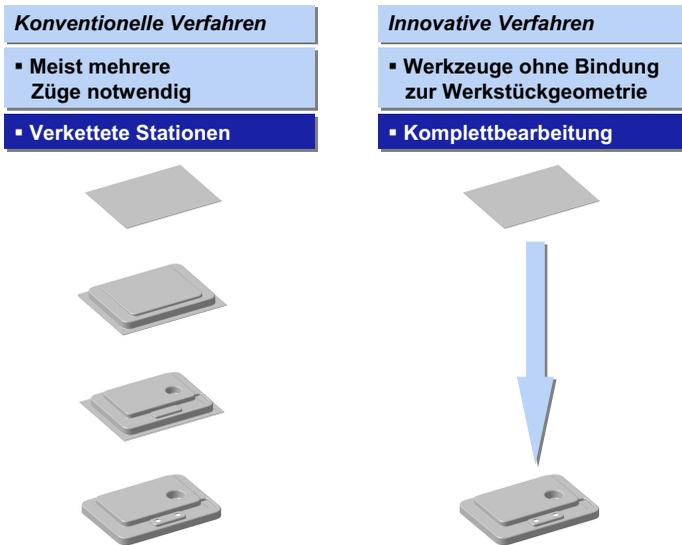


Abbildung 32: Verkettete Arbeitsschritte bei konventionellen Verfahren am Beispiel des Tiefziehens

Bei der Gliederung von Produktionsstätten in Produktionsmodule würde sich dies in sehr umfangreich ausgeprägten, nicht aufteilbaren Modulen widerspiegeln, beispielsweise mit der Eingangsgröße „Blech“ und der Ausgangsgröße „Tiefziehteil“. Derartige Module bieten wenig Raum für projektspezifische Adaptationen. Daher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie projektübergreifend zum Einsatz kommen können, aufgrund der groben Stufung gering. Die notwendigen umfang-

reichen Investitionen machen aus wirtschaftlicher Sicht eine hohe Gesamtstückzahl erforderlich.

In Kapitel 4 wurden Fertigungsverfahren nach DIN 8580 analysiert und geeignete Fertigungstechnologien für eine vergleichsweise aufwandsarme Herstellung von individuellen Teilen unter Verzicht auf produktspezifische Werkzeuge identifiziert. Zugleich wurde ermittelt, welche der zugehörigen Produktionsressourcen für eine dezentrale Produktion in Absatzmarktnähe geeignet sind. Verglichen mit den etablierten industriellen Technologien für die Verarbeitung von Metall und Kunststoff zeichnen sich die ermittelten Verfahren neben dem Entfall von Werkzeugen mit geometrischer Bindung zum Werkstück durch einen weniger robusten Aufbau der Produktionsressourcen aus (vgl. Abschnitt 4.2.3). Sie bieten die Möglichkeit einer Komplettbearbeitung von Bauteilen, ohne dabei mehrere Fertigungsschritte zu erfordern. Gemeinsam mit den Regeln zur Ausgestaltung von Produktionsmodulen wird im folgenden Abschnitt 6.3.4 eine Kriterienliste zur Überprüfung der Eignung von Produktionsverfahren hergeleitet.

Abgestimmt auf das herzustellende Produktspektrum wird in der Produktionsplanung für die individuellen Komponenten ermittelt, welche Fertigungstechnologien und Produktionsabläufe notwendig sind und welche der vorab identifizierten Produktionsressourcen diese Fertigung realisieren können. Im Vergleich zu verketteten Anlagen konventioneller Prozesse zeichnen sich Fabrikmodule mit innovativen Fertigungstechnologien durch Anlagen aus, die in der Lage sind, auch mit geringer Kapazität vergleichsweise wirtschaftlich Rohmaterial zu Fertigteilen zu verarbeiten. Somit sind die Anlagen sowohl technisch als auch von den erforderlichen Investitionen her betrachtet feiner skalierbar. Neben der Möglichkeit, an verschiedenen Standorten zu produzieren, tragen einzelne Ressourcen mit geringen Kapazitätsquerschnitten dazu bei, die Flexibilität in der Fertigung zu erhöhen [WILDEMANN 1998]. Da eine Komplettbearbeitung möglich ist, können einzelne Fertigungsmaschinen unabhängig voneinander an verschiedenen Standorten betrieben werden.

6.3.4 Ausgestaltung von Modulen

Modular strukturierte Produktionssysteme sind so zu gestalten, dass es möglich ist, vorkonfigurierte Module mit geringem Anpassungsaufwand einzusetzen. Darüber hinaus müssen in bestehenden Fabriken Änderungen möglich sein, ohne dass dies eine Überarbeitung der wieder verwendbaren Elemente erfordert. An-

sätze zur Gestaltung von Produktionssystemen beziehen sich deshalb auf Modularisierungsprinzipien, welche instabile und dauerhaft stabile Elemente des Produktionssystems voneinander abgrenzen. Instabile Elemente sind in Modulen zu kapseln, die bei auftretenden Veränderungstreibern angepasst oder ausgetauscht werden. Zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit einzelner heterogener Fabriken werden bei existierenden Ansätzen beispielsweise stabile Elemente in Plattformen zusammengefasst [ZOHM & BERGHOLZ 2002]. Bei marktnahen Fabriken liegt beim Einsatz vorkonfigurierter Fabrikmodule an verschiedenen Standorten keine einheitliche Plattform vor (vgl. Abschnitt 4.8.2). Wegen der erforderlichen vergleichbaren Kernkompetenzen wird hier die Einteilung in stabile und instabile Elemente nach einer anderen Sichtweise vorgenommen. Die Gliederung hinsichtlich stabiler und instabiler Elemente von Fabrikmodulen orientiert sich hier an der Produktentwicklung [KLAUKE ET AL. 2002] mit der Einteilung nach

- Plattformen,
- spezifischen Variantenteilen sowie
- Anpassteilen.

Bei den untersuchten Ansätzen für einzelne Fabriken (vgl. Kapitel 4) werden Bereiche wie der Materialfluss oder die Medienversorgung in Gebäuden als stabile Elemente ausgelegt.

Module für marktnahe Fabriken sind hingegen so ausgestaltet, dass diejenigen Elemente, die in unterschiedlichen Fabriken für die Fertigung individueller Produktkomponenten benötigt werden, stabile Elemente und damit vergleichbar mit „Plattformteilen“ bei der Strukturierung von Produkten sind. Die spezifischen Variantenteile bei der Produktentwicklung entsprechen bei der Planung marktnaher Fabriken den vorliegenden Standortspezifika, beispielsweise dem vorgegebenen Stützenraster der Fabrikhalle. Ebenso lässt sich eine Analogie zu den so genannten Anpassteilen erkennen. Bei der Fabrikplanung sind Anpassungen beispielsweise bei der räumlichen Anordnung von Produktionsressourcen oder bei der Anbindung an den innerbetrieblichen Materialfluss vorzusehen. In Bezug auf die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebene Unterscheidung von „elementaren“ und „konfigurierten“ Bausteinen sind Plattformteile durch elementare Bausteine bei der Fabrikplanung repräsentiert. Bei elementaren Objekten können Prinzipien der Standardisierung zum Einsatz kommen, was eine vielfache

Verwendung der Objekte erlaubt. So lassen sich in erster Linie zwei Effekte realisieren, die zur Kostensenkung in der Produktion beitragen. Zum einen werden der Zeit- und der Kostenaufwand für die Entwicklung der Produktionssystemkomponenten auf mehrere Anwendungsfälle aufgeteilt. Zum anderen unterstützt die Vergleichbarkeit der einzelnen Produktionssysteme untereinander die Nutzung von Erfahrungseffekten. Ziel muss es daher sein, die Module so auszugestalten, dass möglichst viele Elemente als „elementar“ einzustufen sind. Für eine Kategorisierung, welche Bestandteile von Produktionsmodulen so auszulegen sind, dass sie in unterschiedlichen Produktionsstätten unverändert zum Einsatz kommen können, sind die Ursachen für Anpassungsmaßnahmen in der Produktion zu identifizieren. Typische Einflussfaktoren, welche Anpassungen von Produktionssystemen erfordern, so genannte „Veränderungstreiber“, umfassen folgende Kategorien (vgl. [SCHUH ET AL. 2004 A; WIENDAHL ET AL. 2005]):

- Wechselnde Produktmerkmale,
- Änderungen im Kapazitätsbedarf,
- verschiedene Automatisierungsgrade,
- Normierungs- und standortbedingte Anpassungen von Betriebsmittelstandards,
- verkürzte Technologiezyklen und
- neue Produktionskonzepte und –strukturen.

Im Vergleich zu bereits bestehenden Ansätzen einer wandlungsfähigen variantenreichen Serienproduktion ist bei der Kategorie „Wechselnde Produktmerkmale“ eine Erweiterung der Lösungsansätze erforderlich. Bei der genannten variantenreichen Serienproduktion (Prinzip der „Variantendiversifikation“) werden Lose von identischen, vordefinierten Produktkomponenten, die vom Kunden „individuell“ zu einem Produkt zusammengestellt werden, hergestellt. Bei individualisierten, vom Kunden aktiv gestalteten Produkten kann prinzipiell jedes Produkt unterschiedliche Produktmerkmale aufweisen und somit als Veränderungstreiber auf ein Produktionssystem einwirken. Eine fortlaufende Anpassung des Produktionssystems an jeden Kundenauftrag, beispielsweise durch die Erstellung eigener Betriebsmittel, ist auch unter Verwendung neuer Technologien zeitlich und kostenmäßig nicht sinnvoll umsetzbar. Gegen eine Verwendung von Betriebsmitteln, die so weit konfigurierbar sind, dass sie für

sämtliche, im Voraus nicht bekannten Anforderungen einsetzbar sind, sprechen der technische Aufwand bzw. schwer zu erfüllende Anforderungen. So wurden bei der Betrachtung des Standes von Technik und Forschung im Abschnitt 4.2.2 Strategien zur Erstellung flexibler und rekonfigurierbarer Betriebsmittel für die Produktion von verschiedenen Werkstücken einer Teile- oder Fertigungsfamilie genannt. Bei der Fertigung von Unikaten würde sich der aufgezeigte Zielkonflikt zwischen Anpassbarkeit einerseits und technischer Steifigkeit sowie Aufwand für die Betriebsmittelerstellung andererseits besonders auswirken. Wie in den einleitenden Kapiteln dargelegt, gestaltet sich die Amortisation von produktspezifischen Werkzeugen und Betriebsmitteln schon bei der variantenreichen Serienproduktion aufgrund der kleiner werdenden Losgrößen in zunehmendem Maße schwierig. Eine reine Optimierung der bekannten Prozesse der Betriebsmittelanpassung stellt sich daher als unzureichend dar, um bei einer Produktion mit „Losgröße eins“ dem Veränderungstreiber „wechselnde Produktmerkmale“ umfassend gerecht zu werden. Eine Strukturierung von Produktionssystemen, speziell ausgelegt für die industrielle Fertigung von Unikaten in großen Stückzahlen, hat daher wechselnde Produktmerkmale von der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen in der Produktion zu entkoppeln. Zur Modellierung und Eigenschaftsabsicherung von Produktspektren mit individuell ausgeprägten Endprodukten werden seitens der Produktentwicklung Vorgehensweisen angewendet, die es zulassen, auf Baugruppenebene eine Varianz zu erzeugen [LINDEMANN & PULM 2001]. Aus produktionsbezogener Sicht lassen sich derart individualisierbare Produktkomponenten untergliedern in einerseits eine „Design Zone“, in welcher der Kunde aktiv die Ausprägung mitgestalten kann, sowie andererseits Bereiche, die durch technische Vorgaben festgelegt sind und vom Kunden nicht beeinflusst werden können. In Zusammenarbeit zwischen der Produktentwicklung und der Produktionssystemplanung sind die vom Kunden nicht veränderbaren Bereiche individueller Teile so zu gestalten, dass sie auf die festzulegenden Bezugspunkte der Produktionsressourcen (Betriebsmittel für Einspannung, Handhabung und Transport etc.) abgestimmt sind. Die Notwendigkeit einer wiederholten auftragsspezifischen Erstellung oder Adaption von Betriebsmitteln wird dadurch umgangen.

Abbildung 33 zeigt beispielhaft Einspann-, Transport- und Handhabungseinrichtungen, wie sie derzeit weit verbreitet sind (Block I in Abbildung 33). Die Greifflächen liegen dabei an der äußeren Kontur des Bauteils, welche auch die geo-

metrische Produktform repräsentiert („Design Zone“). Für die Herstellung von Komponenten mit wechselnden, kundenspezifischen Bauteilgeometrien sind derartige Betriebsmittel demnach größtenteils nicht geeignet. Wie in der vorangegangenen Passage dargelegt, sind daher die Betriebsmittel in Abstimmung zwischen der Produktentwicklung und der Produktionssystemplanung so zu gestalten, dass sie diesen technisch vorgegebenen Bereichen zugeordnet sind (Block II in Abbildung 33). Eine derartige Gestaltung von Produktionssystemen, die somit indifferent gegenüber kundenspezifisch ausgeprägten Teilen sind, trägt gemeinsam mit der Anwendung industrieller Prozesse zur Senkung der Fertigungskosten individuell gestalteter Produktkomponenten bei.

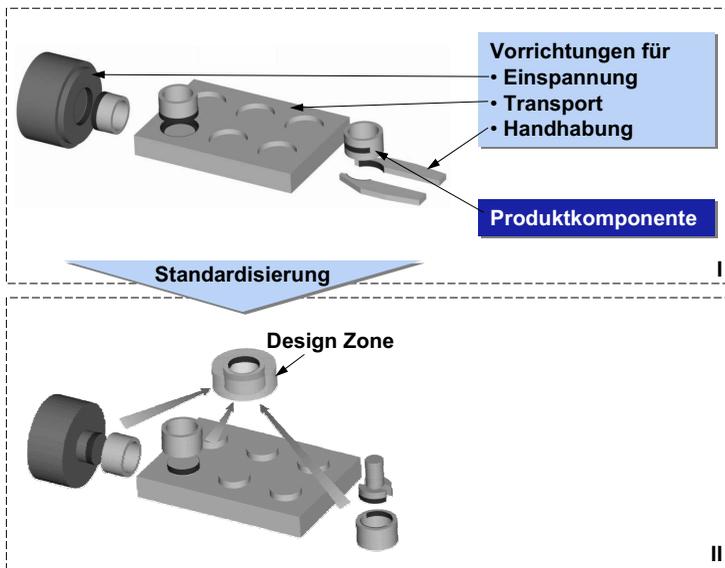


Abbildung 33: Beispielhafte Darstellung von auftragsneutralen Einspannungs-, Handhabungs- und Transportvorrichtungen (nach [KRESS 2000])

Im instabilen Bereich konfigurierter Bausteine können Module an spezifische Randbedingungen angepasst werden. Auf der untersten Betrachtungsebene, also bei den elementaren Bausteinen, können einzelne Maschinen oder Vorrichtungen mehrfach in identischer Ausführung zum Einsatz kommen, beispielsweise bei einer Erhöhung der produzierten Stückzahl, die durch die vorhandene Kapazität nicht abgedeckt werden kann. Eine aufwändige Detailplanung des Produktionsprozesses und der zugeordneten Betriebsmittel ist nicht erforderlich, da Prozesse

und Betriebsmittel standardisiert sind. Ebenfalls adaptierbar ist die Anbindung an Gebäude oder an die Infrastruktur.

Prozesse und Ressourcen sind für die marktnahe Produktion individualisierter Produkte geeignet, wenn sie alle folgenden Anforderungen erfüllen:

- Es besteht keine oder nur eine minimale geometrische Bindung zwischen Werkzeug und hergestelltem Werkstück.
- Derzeit verbreitete Materialien für Konsumgüter können verarbeitet werden.
- Die Qualität der hergestellten Teile entspricht der konventionellen Fertigung.
- Das Fertigungsverfahren ist automatisierbar.
- CAD-Daten (Bauteil) können unmittelbar in Steuerungsbefehle für die Fertigung umgesetzt werden.
- Es ist eine Komplettbearbeitung möglich.
- Ressourcen (Betriebsmittel) können in Gebäuden ohne spezielle Anforderungen (Klimaabschottung, Bodenlast, Fundament) in Betrieb genommen werden.

Um bei der Vielzahl an Planungsprojekten den Abstimmungsaufwand gering zu halten, ist eine Integration der Planungsprozesse notwendig.

6.4 Effiziente Planungsprozesse für marktnahe Fabriken

6.4.1 Vernetzte Planung mit vorkonfigurierten integrierten Planungsmodulen

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Eigenschaften industrieller Produktionsverfahren, die sich für die marktnahe Produktion individualisierter Produkte eignen, identifiziert. Es wurde eine Strukturierung von Produktionsmodulen und deren zugehörigen Betriebsmitteln vorgestellt, mit der die Module in der Lage sind, einzelne Bearbeitungsstufen autonom durchzuführen. Damit sind seitens der Produktions-Hardware die Voraussetzungen geschaffen, schnell eine Vielzahl vergleichbarer marktnaher Fabriken zu konzipieren und ihre reale Umsetzung mit Hilfe der vorkonfigurierten Bestandteile der Produktionssysteme in

kurzer Zeit durchzuführen. Auf der Seite der nicht-materiellen Umfänge sind unter anderem eine detaillierte Planung sowie Dokumentation bei der Konzeption von Fabriken notwendig. Im vorliegenden Abschnitt werden Prinzipien für Neu- und Umplanungsmaßnahmen vorgestellt, die in besonderem Maße die spezifischen Anforderungen einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte berücksichtigen:

- Planung der Ressourcen unter Berücksichtigung vorliegender Randbedingungen (z. B. bestehende Gebäude)
- Planung und Absicherung von alternativen Szenarios, um einen schnellen und optimierten Produktionsanlauf zu ermöglichen
- Erfahrungsrückfluss und Wissensmanagement, um neben der standortspezifischen Anpassung von Modulen einen Verbesserungsprozess basierend auf Erfahrungseffekten, auch an anderen Standorten, zu unterstützen.

Diese Anforderungen sind in den Fabrikplanungsablauf zu integrieren. Eingangsgrößen für die Planung der Fertigung individueller Komponenten sind durch die Randbedingungen seitens der Produktentwicklung spezifiziert. Die Produktentwicklung erstellt ein Produktspektrum, bei dem ein definierter Teil der Umfänge vom Kunden individuell gestaltet werden kann. Die herzustellenden individualisierbaren Produktkomponenten legen hinsichtlich der vorgesehenen Materialien und deren Verarbeitung grundsätzlich fest, welche Produktionsprozesse erforderlich sind und welche Art von Produktionsressourcen in der Fabrik zur Verfügung stehen muss. Etablierte Prozesse für die Fabrik- und Produktionsplanung sind dadurch gekennzeichnet, dass unterschiedliche Sichtweisen (beispielsweise technologische Anforderungen, Layout, Logistik, Kostenschätzung) auf die zu planenden Ressourcen getrennt bearbeitet werden [DEPPE 2003], obwohl sie sich auf dieselben Objekte beziehen und damit logisch verknüpft sind. Aufgrund der Zeitintensität der Abstimmungs- und Anpassungsprozesse [WESTKÄMPER 2000] sind daher diese Vorgehensweisen insbesondere für lokal verteilte Fabriken mit kurzen Planungszyklen wenig geeignet. Hierfür wird im Folgenden eine spezifische Ausprägung des Planungsprozesses vorgestellt, welcher Aspekte der

- Integration und
- Modularisierung

besonders berücksichtigt. Zunächst werden die Abläufe zur Umsetzung dieser beiden Prinzipien beschrieben. Darauf aufbauend wird im Anschluss die Abbildung der Information in digitalen Werkzeugen behandelt.

6.4.2 Integration

Durch eine Integration der verschiedenen Sichtweisen auf ein Objekt kann die Trennung von logisch zusammengehöriger Information im Planungsprozess mit dem Ziel der Reduktion von routinemäßigen Abgleichsarbeiten aufgehoben werden (Abbildung 34).

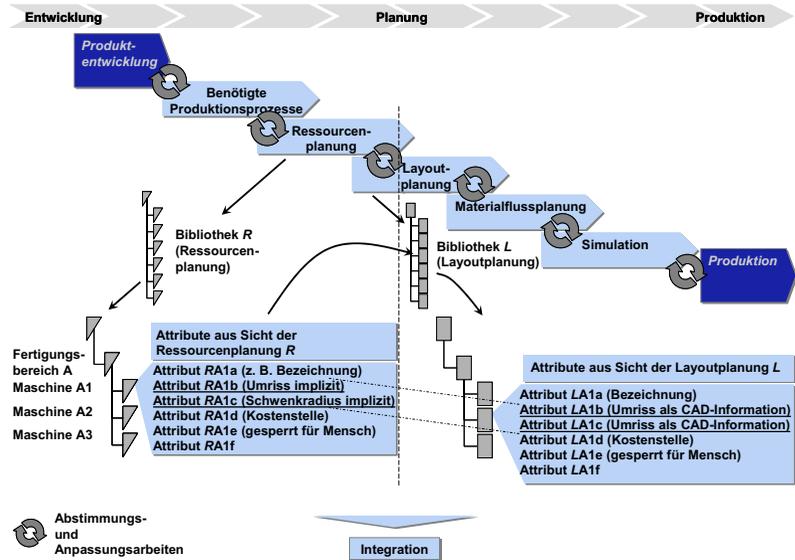


Abbildung 34: Inhaltliche Integration verschiedener Disziplinen bei der Planung von Fabriken und Produktionsprozessen

Die Entwicklung von systematisch vernetzten Planungsabläufen erfordert die Berücksichtigung der Planungsstrukturen und -hierarchien, der Arbeitsabläufe in einzelnen Abteilungen sowie der organisatorischen Abhängigkeiten und der daraus resultierenden Wechselwirkungen der einzelnen Planungsbereiche im Planungsprozess. Für die Integration von Planungsprozessen ist daher folgendes Vorgehen erforderlich:

- Identifikation von Anforderungen an die Planung in Abhängigkeit von der betrachteten Produktionstechnologie
- Identifikation von Fachdisziplinen, zwischen denen es im Entwicklungs- und Planungsprozess Schnittpunkte gibt
- Betrachtung der Planungsobjekte, Identifikation der abteilungsspezifischen Prioritäten und der daraus resultierenden Sichtweise
- Analyse abteilungsspezifischer hierarchischer Planungsstrukturen und deren Information, die in unterschiedlichen Fachabteilungen benötigt und bearbeitet wird
- Betrachtung der abteilungsinternen Planungsabläufe
- Identifikation von Überschneidungen bei übereinstimmenden Attributen gleicher Planungsobjekte
- Identifikation von Information, die bereits in frühen Phasen des Planungsprozesses verfügbar sind und ggf. nicht dokumentiert werden
- Abteilungübergreifende Harmonisierung von Begriffen, Strukturen und Attributen
- Klärung der Zuständigkeiten beim Bearbeiten und Ändern von Planungsinformation
- Anpassung der abteilungsinternen Planungsabläufe für ein gemeinsames Prozessverständnis mit anderen Abteilungen
- Definition von abteilungübergreifenden Planungsprozessen
- Gegebenfalls softwaretechnische Kopplung der Planungswerkzeuge

Bei der Planung von industriellen Produktionsstätten ist in der Regel umfangreiche Information in geeigneten Planungsstrukturen abzulegen. Damit derartige Strukturen einfach aufzubauen und im Planungsverlauf aufwandsarm zu ändern sind, ist eine modulare Gliederung der Information in den unterschiedlichen, aber logisch zusammengehörigen Sichtweisen notwendig. In den vorangegangenen Abschnitten wurde ein Aufbau für vorkonfigurierte Fabrikmodule für marktnahe Fabriken hergeleitet. In den folgenden Abschnitten wird die Gruppierung von zusammengehöriger Information verschiedener Sichtweisen in diesen vorkonfigurierten Modulen dargestellt.

6.4.3 Modularisierung

Abbildung 35 stellt die logischen Schritte dar, welche für eine Planung marktnaher Fabriken ausgehend von vorkonfigurierten Modulen notwendig sind.

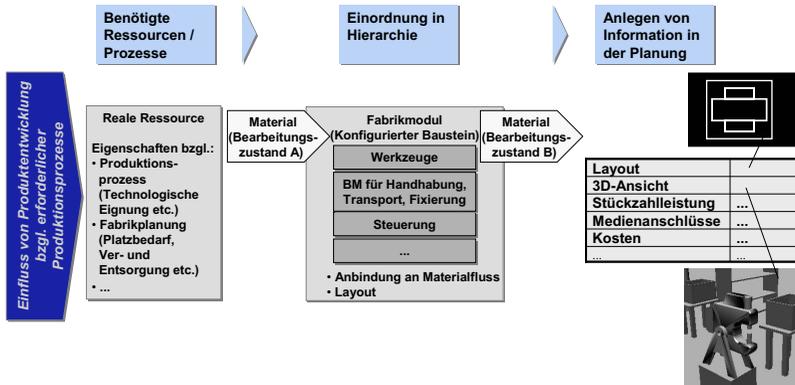


Abbildung 35: Hierarchische Strukturierung von Produktionsressourcen

Seitens der Produktentwicklung existieren Anforderungen an das Produkt. Auf dieser Basis sind Ressourcen zu identifizieren, die in der Lage sind, diese Anforderungen in einer marktnahen Produktion umzusetzen (vgl. Abschnitt 6.3.4). Die Produktionsressourcen stellen zusammen mit zugehörigen Werkzeugen oder Betriebsmitteln (BM) ein Fabrikmodul dar, welches definierte Bearbeitungsschritte im Produktionsprozess leisten kann. Für dieses Fabrikmodul ist in der Planung Information in unterschiedlichen Sichtweisen anzulegen und dem Modul zuzuordnen. Bei Verwendung eines entsprechenden Bausteins in der Planung ist somit die zugehörige Information verfügbar.

Die Strukturierung von Produktionsprozessen und Ressourcen in entkoppelte Module (vgl. Abbildung 35), die Identifikation der vielseitigen Informationen, die in verschiedenen Abteilungen benötigt werden, sowie eine strukturierte Zuordnung dieser Information zu Planungsmodulen erfordert gemeinsam mit der anschließenden Planung einen Aufwand, der unter Umständen höher ist, als dies bei einer direkten iterativen Planung der Fall wäre. Diesem zunächst höheren Aufwand steht der Vorteil gegenüber, dass bei verschiedenen Planungsszenarios

eine vergleichsweise aufwandsarme Erstellung von Planungsalternativen möglich ist, beispielsweise durch den Austausch oder die Anpassung einzelner Module. Der Aufwand, der dazu erforderlich ist, bei Änderungen in der Planungsinformation die Anpassungen in anderen Planungsbereichen zu aktualisieren, wird gesenkt, da die Anpassungen innerhalb der einzelnen Abteilungen durch die Modulgrenzen abgegrenzt und damit identifizierbar sind. Dies trägt zur Aktualität und Konsistenz der Information in verschiedenen Planungsabteilungen bei, was gerade im Hinblick auf eine digitale Verarbeitung von Planungsinformation von Bedeutung ist. Dies wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

6.5 Adaption von Methoden der Virtuellen Produktion

6.5.1 Allgemeines

In der Fabrikplanung als strategischem Wettbewerbsfaktor [WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2002] trägt eine umfassende Unterstützung der Planungsprozesse durch geeignete digitale Medien dazu bei, die Bearbeitung von großen Informationsvolumina mit ausreichender Geschwindigkeit zu beherrschen. Verschiedene bestehende Ansätze zur informationstechnischen Kopplung unterschiedlicher Planungswerkzeuge in Verbindung mit der Einführung integrierter Planungsprozesse haben zum Ziel, die Planungseffizienz und -qualität gegenüber dem Einsatz von Insellösungen bei der Software weiter zu steigern [LINNER 2002; REINHART ET AL. 2003 A].

Über diese Zielsetzung hinaus ist bei der Einführung einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte mit innovativen Fertigungstechnologien insbesondere ein Rückfluss von Erfahrungswissen in die Planungsinformation und damit ein Abgleich von realer Produktion und Virtueller Produktion zu unterstützen. Die Dokumentation von Prozesswissen in digitalen Medien erleichtert gleichzeitig eine Verteilung des Wissens zwischen einzelnen Standorten. Eine Weitergabe von Optimierungslösungen bei der marktnahen Produktion mit industriellen Verfahren, die es erlaubt, Kostensenkungspotenziale durch Erfahrungseffekte (vgl. Abschnitt 4.3.5) zu erschließen und so die Herstellkosten individueller Produktkomponenten zu senken, wird durch die Verteilbarkeit digitaler Information unterstützt. Mit dem in den vorangegangenen Abschnitten aufgezeigten Fabrikaufbau, basierend auf Modulen mit standardisierten, produktneutralen Fertigungsressourcen und –prozessen, sind seitens der Fabriken die Voraussetzungen für die Weitergabe und Wiederverwendbarkeit von Erfahrungswissen

geschaffen. Eine wichtige Aufgabe ist daher die Entwicklung von Prozessen, welche eine Planung für die Produktion an verteilten Standorten sowie die Dokumentation von Erfahrungen (Prozesswissen) mit digitalen Hilfsmitteln effizient unterstützen [ZÄH ET AL. 2003 A].

In den beiden folgenden Unterabschnitten werden die Integration von Planungswerkzeugen für den Fall einer Planung mit vorkonfigurierten Modulen sowie eine geeignete Planungsumgebung zur Unterstützung des Erfahrungsrückflusses beispielhaft dargestellt.

6.5.2 Vernetzung von Planungssystemen

Während die Bereiche der Produktentstehung und der rechnerintegrierten Produktion einen hohen Grad an Funktionalität und Integration aufweisen, ist im Bereich der Produktionentstehung mit Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik eine Lücke zu schließen (vgl. Abschnitt 4.7.3; [WESTKÄMPER ET AL. 2003 A; LINNER 2002]). Derzeit werden dort überwiegend Insellösungen eingesetzt. In Abhängigkeit von den zu vernetzenden Planungsbereichen (beispielsweise Produktionsprozesse, Layout, Logistik) und von der Art der zu planenden Produktion (beispielsweise Fertigung mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden) unterscheiden sich die derzeit verfolgten Integrationsansätze hinsichtlich der Intensität der Interaktion zwischen unterschiedlichen Werkzeugen (siehe bspw. [SOSSNA & WAGNER 2001; WAGNER ET AL. 2003]). Die Integration kann verschiedene Grade aufweisen, beispielsweise vom dateibasierten Datenaustausch bis zur festen Kopplung verschiedener Software-Programme, bei der sich Änderungen der Planungsinformation wechselseitig auswirken.

Um mit komplexer Planungsinformation effizient zu arbeiten, hat sich bei den unterschiedlichen Sichtweisen weitgehend eine Arbeitsweise durchgesetzt, die auf Bibliotheken basiert. Ausgehend von den Bibliothekselementen werden hierarchische Projektstrukturen aufgebaut. Für eine Fabrikplanung, welche auf vorkonfigurierten Modulen basiert, ist eine Konfiguration von Planungssystemen vorteilhaft, bei der beim Hinzufügen, Ändern oder Entfernen einzelner Module die Auswirkungen auf andere Planungsbereiche unmittelbar erkennbar werden. Bei der Einführung einer integrierten Arbeitsweise mit vorkonfigurierten Planungsmodule ermöglichen die einzelnen digitalen Werkzeuge unterschiedliche Sichten auf die Planungsinformation eines Projekts. Um eine Abbildung der in Abschnitt 6.3.2 bis Abschnitt 6.3.4 spezifizierten Fabrikmodule in digitalen

Werkzeugen zu ermöglichen und um Bibliothekslösungen nutzen zu können, ist es erforderlich, dass die unterschiedlichen Sichtweisen vergleichbare Hierarchien und übereinstimmende Schnittstellen bei der Strukturierung der Planungsinformation aufweisen. So kann mit der Integration und der modularen Strukturierung von Planungsinformation (vgl. Abschnitte 6.4.2 und 6.4.3) eine Bibliothek mit Planungsinformation angelegt werden, in der die Fabrikmodule in verschiedenen Sichtweisen abgebildet sind. Abbildung 36 zeigt beispielhaft, wie unter Verwendung von spezifischen Bibliothekselementen bei der Planung in unterschiedlichen Sichten eigene Strukturen aufgebaut werden, auch wenn die gleichen Objekte geplant werden. Voraussetzung für die Einführung einer Planung mit integrierter Information ist eine Vereinheitlichung von Hierarchien und Schnittstellen.

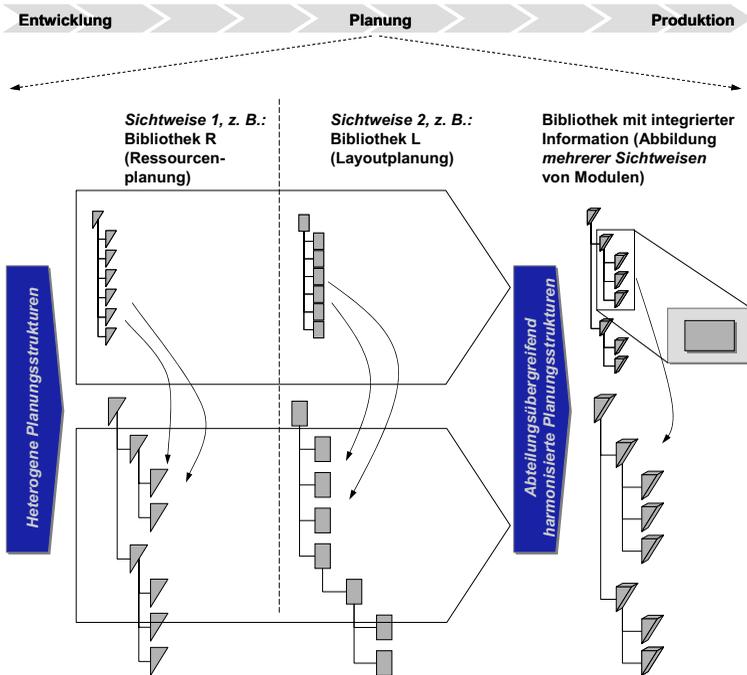


Abbildung 36: Übergreifende Harmonisierung von Strukturen unterschiedlicher Disziplinen bei der Planung von Fabriken und Produktionsprozessen

Wie im Stand der Technik und in der Einleitung dieses Kapitels beschrieben, stehen einer Umsetzung vernetzter Planungsprozesse mit Hilfe digitaler Werkzeuge, abgesehen von der notwendigen Einführung neuer Arbeitsabläufe, bislang häufig Inkompatibilitäten auf der Software-Ebene entgegen. Auf dem Markt erhältliche, leistungsfähige Werkzeuge der Digitalen Fabrik bieten in zunehmendem Maße Schnittstellen und Anpassungsmöglichkeiten, die eine maßgeschneiderte Konfiguration für spezifische Planungsprozesse unterstützen. Für den Fall der markt-nahen Produktion individualisierter Produkte soll Planungsinformation aus den Bereichen Prozessplanung, Layout-Planung und 3D-Visualisierung unter Verwendung entsprechender digitaler Medien dargestellt werden. Für die Abbildung von integrierten Planungsprozessen für die markt-nahe Produktion individualisierter Produkte wurde im vorliegenden Fall das Prozessplanungswerkzeug eM-Planner[®] der Firma Tecnomatix als Integrationskern ausgewählt. Diese Software erlaubt es, Daten bezüglich des herzustellenden Produktes, der benötigten Produktionsprozesse sowie der Produktionsressourcen zu bearbeiten. Für die Abläufe der Fabrikplanung steht die Struktur der Produktionsressourcen im Vordergrund. Unter Verwendung der CAD-Software MicroStation[®] von der Firma Bentley Systems wurde eine Kopplung von Information zu benötigten Ressourcen aus Sicht des Produktionsprozesses, zur 2D-Layout-Planung der Ressourcen und zur 3D-Visualisierung beispielhaft aufgebaut. Bei der Bearbeitung von Planungsinformation aus einer bestimmten Sichtweise wird bekannte, jedoch noch nicht benötigte Information unmittelbar aktualisiert und damit für andere Sichtweisen bei Bedarf verfügbar gemacht. In Verbindung mit dem vorgestellten Prinzip der Modularisierung lassen sich spezifische Vorteile beim Anwendungsfall „Generieren von Fabrikvarianten“ umsetzen. Darüber hinaus ist bei der Dokumentation von Prozessverbesserungen aus der laufenden Produktion eine höhere Effizienz im Vergleich zu einem Informationsrückfluss in einzelne, zueinander abgegrenzte digitale Werkzeuge erreichbar.

Vereinheitlichte Strukturen ermöglichen eine gemeinsame Datennutzung durch verschiedene Projektbeteiligte. Die Berücksichtigung sowohl von Produkt- und Prozess- als auch von Ressourceninformationen bei der Planung von Fabriken unterstützt eine Entscheidungsfindung [KARLSSON & OSCARSON 2003]. Daher ist es notwendig, das Prozesswissen der Beteiligten zu bündeln und in einer integrierten Betrachtung den Projektbeteiligten zugänglich zu machen.

6.5.3 Interaktive Planung

Zum Bereich der Virtuellen Produktion zählen neben Software-Applikationen und Engineering-Prozessen auch Benutzerschnittstellen, die den Anwender immersiv in den Planungsprozess integrieren. Die dafür notwendigen Hardware-Komponenten können fallspezifisch zusammengestellt und mit einer geeigneten Anbindung an Software-Komponenten zu interaktiven Planungsmedien aufgebaut werden. Werkzeuge, beispielsweise die der erweiterten, virtuellen Realität oder interaktive Planungsumgebungen [WESTKÄMPER 2000; WIRTH ET AL. 2001; ZÄH ET AL. 2002], unterstützen dabei den Zugriff auf die Virtuelle Produktion. Neben einer Vereinfachung der Nutzung digitaler Werkzeuge erleichtern es interaktive Medien wie „Planungstische“ [WESTKÄMPER & VON BRIEL 2001], in interdisziplinären Gruppen auch Mitarbeiter einzubeziehen, die keine Experten für die Fabrikplanung sind. Insbesondere sind hier Produktionsmitarbeiter mit ihrem Wissen hinsichtlich laufender Produktionsprozesse zu nennen. Zur Unterstützung der Abläufe beim Anwendungsfall der Planung von marktnahen Fabriken wurde eine Planungsumgebung mit vergleichbaren Hardware-Komponenten als Demonstrator aufgebaut (Abbildung 37). Die Planungsumgebung mit einer interaktiven Eingabefläche, über welche die 2D-Layout-Darstellung von Produktionsressourcen bearbeitet werden kann, die angebundene 3D-Visualisierung sowie die Koppelung zur Datenbank des Prozessplanungswerkzeugs unterstützen sowohl die Erstellung von Planungsszenarien als auch die Besprechung und Dokumentation von Prozessverbesserungen, die aus den Erfahrungen der laufenden Produktion abgeleitet werden. Im vorliegenden Fall wurden seitens der Software das integrierte Prozessplanungswerkzeug eM-Planner[®] der Firma Tecnomatix sowie das 2D-Layout-Planungsprogramm MicroStation[®] der Firma Bentley Systems verwendet. Mit den ausgewählten Software-Komponenten ist die Planungsumgebung in der Zukunft über den vorhandenen Aufbau hinaus integrier- und erweiterungsfähig. So ist in einer weiteren Ausbaustufe die Anbindung von Werkzeugen aus dem Bereich der „Augmented Reality“ vorstellbar (vgl. Abschnitt 9.2). Beim Einsatz von Augmented-Reality-Technologien wird unter Verwendung von entsprechend geeigneten Brillen das Blickfeld des Anwenders durch die Einblendung von zusätzlicher Information angereichert. Auf der Basis von einer Rückkoppelung der vorhandenen Umgebung zu digitalen Informationen ist es möglich, dem Nutzer über das reale Umfeld hinaus Informationen zur Verfügung zu stellen, die an die vorliegende räumliche Situation angepasst sind.

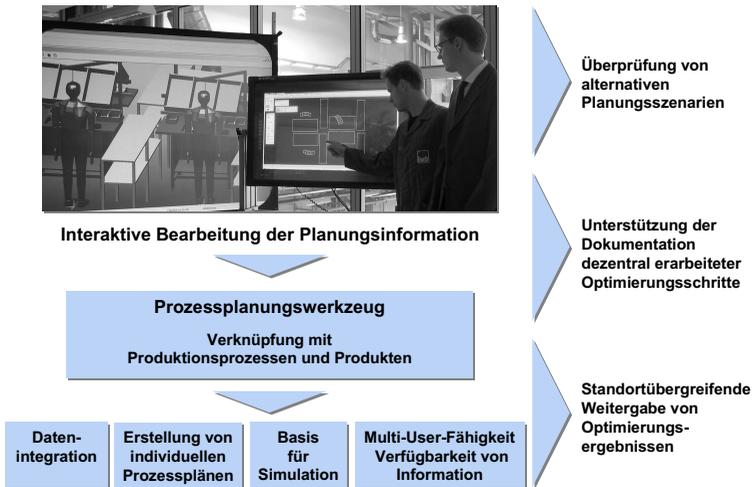


Abbildung 37: Medien für eine interaktive Planung

In den vorangegangenen Abschnitten wurde beschrieben, wie die Information zu modular strukturierten Produktionsressourcen in die Werkzeuge und Abläufe von digital gestützten, integrierten Planungsprozesse zu übernehmen ist, um eine effiziente Planung auf der Basis von vorkonfigurierten Planungsmodulen zu erreichen. Mit der *Integration* (vgl. Abschnitt 6.4.2) von Abläufen und Werkzeugen unterschiedlicher Sichtweisen werden der Anpassungs- und Aktualisierungsaufwand reduziert. Die *Modularisierung* (vgl. Abschnitt 6.4.3) unterstützt die Planungsbeteiligten dabei, die Komplexität bei der Planung von Produktionsstätten zu beherrschen und vergleichsweise aufwandsarm verschiedene Planungsszenarien unter Verwendung vorkonfigurierter Untereinheiten zu generieren. Voraussetzung ist eine *Harmonisierung* (vgl. Abschnitt 6.5.2; Abbildung 36) der Hierarchien der unterschiedlichen Sichtweisen, so dass sich Änderungen an der Planungsinformation einer bestimmten Sichtweise auch in thematisch angrenzenden Disziplinen nur innerhalb eines Bereichs auswirken, welcher durch eindeutige Schnittstellen charakterisiert ist. Mit der Abbildung einer entsprechend strukturierten und miteinander verknüpften Information ist es möglich, am beschriebenen Planungswerkzeug in einer interdisziplinären Gruppe gemeinsam Planungsszenarien zu bearbeiten. Bei der Eingabe von Adaptionen in das Werkzeug der Layoutplanung mittels berührungssensitiver Oberfläche werden deren

Auswirkungen auf andere Sichtweisen (Prozessplanung, 3D-Visualisierung) übernommen. So erlaubt die Aktualisierung der 3D-Darstellung zum Beispiel eine Beurteilung, ob Kollisionen mit Unterzügen oder Bühnen auftreten. Die Kopplung zur Datenbank der Prozessplanung aktualisiert die Koordinaten von räumlich versetzten Ressourcen. Deren Koordinaten können beispielsweise als Eingangsgrößen für die Materialflussplanung verwendet werden. Gemeinsam entwickelte Planungsszenarien sind nach der Abstimmung digital dokumentiert. Gegenüber den verbreiteten Vorgehensweisen, bei denen Spezialisten in ihrem Fachgebiet eigene Lösungsvorschläge entwickeln und Änderungswünsche nach der Vorstellung in disziplinübergreifenden Gruppen nachpflegen, ist bei der integrierten Vorgehensweise eine wesentliche Effizienzsteigerung durch die Reduktion von Anpassungsarbeiten zu erreichen. Ebenso ist gewährleistet, dass die Informationen in anderen Planungssichten aktualisiert werden.

6.5.4 Standortübergreifende Weitergabe von Optimierungslösungen in der Produktion

Wie in der Betrachtung des Standes von Technik und Forschung dargelegt (vgl. Abschnitt 4.7.2), lässt sich bei häufigen Neu- und Umplanungen die Effizienz erheblich steigern, wenn Informationen von früheren erfolgreichen Projekten wieder genutzt werden. Häufig werden aber bereits in der Planungs- und Umsetzungsphase Änderungen vorgenommen, die nicht in die Projektinformation eingepflegt werden und damit nicht allgemein im Projekt verfügbar sind. Die dadurch entstehenden Konsistenzprobleme verursachen in der Folge einen hohen Aufwand für die Anlagendokumentation und wirken sich unter anderem bei Erweiterungen negativ aus [DEPPE 2003]. Die ursprünglich entwickelte und in der Regel dokumentierte Planungslösung weicht daher von der erfolgreich umgesetzten Lösung ab. Ein weiterer Grund für Abweichungen zwischen der vorliegenden Planungsinformation bzgl. eines Produktionssystems und seiner realen Ausprägung kann die Dezentralisierung von Verantwortung bei der Entwicklung und Umsetzung von Verbesserungsprozessen in wandlungsfähigen Fabriken [NOFEN ET AL. 2003 B] sein. Ursprünglich für die Effizienzsteigerung entwickelt, kann ein eigenständig ablaufender, dezentraler Verbesserungsprozess eine ungenügende Dokumentation zur Folge haben.

Um Erfahrungseffekte zur Kostensenkung nutzen zu können, zielt das Konzept der marktnahen Produktion individualisierter Produkte mittels industrieller Pro-

zesse neben einer Nutzung des Informationsgehalts früherer Planungsprojekte vor allem auf die standortübergreifende Nutzung von Erfahrungen und Optimierungslösungen aus dem laufenden Produktionsbetrieb ab [ZÄH & WAGNER 2003 A]. Als Beispiele für derartige Maßnahmen werden eine Umgestaltung von Vorrichtungen, eine verbesserte Anordnung von Maschinen oder eine Vereinfachung von Prozessen genannt [NOFEN ET AL. 2003 B].

Beim Abgleich von realer Produktion und Virtueller Produktion ist zu unterscheiden zwischen Verbesserungen, die im Verantwortungsbereich der Mitarbeiter in der Produktion liegen, und Maßnahmen, die zunächst im Bereich der Fabrikplanung ausdetailliert und dann in der Produktion umgesetzt werden. Im letzteren Fall, beispielsweise bei der Einführung einer neuen Technologie, kann durch einen technologischen „Quantensprung“ die Erfahrungskurve auf ein neues Niveau überführt werden. In der Regel tritt dabei auch eine Änderung des Lernfaktors ein.

Bei Planungen ist nicht nur auf dem Planungszustand früherer Projekte aufzusetzen, gegebenenfalls sind zwischenzeitlich vorgenommene Änderungen oder erreichte Verbesserungen zu berücksichtigen. Die in der vorliegenden Arbeit spezifizierte modulare Gestaltung von Fabriken erleichtert das Generieren von vergleichbaren Fabrikvarianten [ZÄH & WAGNER 2003 B]. Die schematisierte Darstellung des Ablaufs von Neu- und Anpassungsplanungen lehnt sich daher an den Problemlösungszyklus der Produktentwicklung [EHRENSPIEL 1995] an (Abbildung 36). Neuplanungen oder Anpassungsplanungen, beispielsweise bei der Einführung neuer Produktlinien, bei Kapazitätsausweitung oder bei der Einführung neuer Technologien zur Prozessoptimierung, werden von der Produktionsplanung *zentral* initiiert und durchgeführt ((1) in Abbildung 36). Sie sind in der Regel durch Veränderungstreiber, die von außen auf die Produktion einwirken, bedingt. Kann hierbei keine vorhandene Lösung aus dem Baukasten mit vorkonfigurierten Modulen übernommen werden, so sind diese anzupassen. Reichen Anpassungen nicht aus, sind neue Module zu entwickeln. Stellen die durchgeführten Anpassungen oder Entwicklungen nicht nur eine standortspezifische Adaption dar, sondern eine prinzipielle Verbesserung des Produktionsprozesses, so wird die dokumentierte verbesserte Lösung als neues „Best Practice“ in die Bibliothek mit vorkonfigurierten Lösungen eingepflegt.

Mit einem Prozess des Abgleichs zwischen realer Produktion und Virtueller Produktion können Wissen und Erfahrung der *Mitarbeiter* bezüglich des im Laufe der Produktionstätigkeit von ihnen weiter entwickelten Stands einfließen. Bei der Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen, die *im Verantwortungsbereich der Mitarbeiter in der Produktion* liegen ((2) in Abbildung 36), steht die Dokumentation und damit der Rückfluss von Information aus der realen Produktion in die Virtuelle Produktion im Vordergrund. Nach der Einrichtung eines neuen Produktionssystems bzw. nach Anlauf eines neuen Produkts stellen sich mit steigender Stückzahl an hergestellten Einheiten Lern- und Erfahrungseffekte ein [HENDERSON 1984]. Die Kenntnisse der Mitarbeiter bzgl. der Maßnahmen, die zum Erreichen der Produktivitätsverbesserungen innerhalb eines Standorts geführt haben, werden in gemeinsamen Besprechungen mit Vertretern aus der Produktionsplanung dokumentiert. Mit dieser Dokumentation werden zwei Zielsetzungen verfolgt:

- Abgleich von realer Produktion und Virtueller Produktion: Bei der Wartung und Instandhaltung sowie insbesondere bei Änderungs- oder Erweiterungsplanungen sollen Planungsdaten vorliegen, die mit den real vorhandenen Anlagen übereinstimmen.
- Falls es sich nicht um standortspezifische, sondern prozessbezogene Verbesserungen handelt, ist der erreichte Zustand als „Best Practice“ zu dokumentieren und über eine zentrale Instanz, z. B. über die Abteilung „Innovationsmanagement“, mittels Bibliotheken mit vorkonfigurierten Bausteinen anderen Standorten zugänglich zu machen.

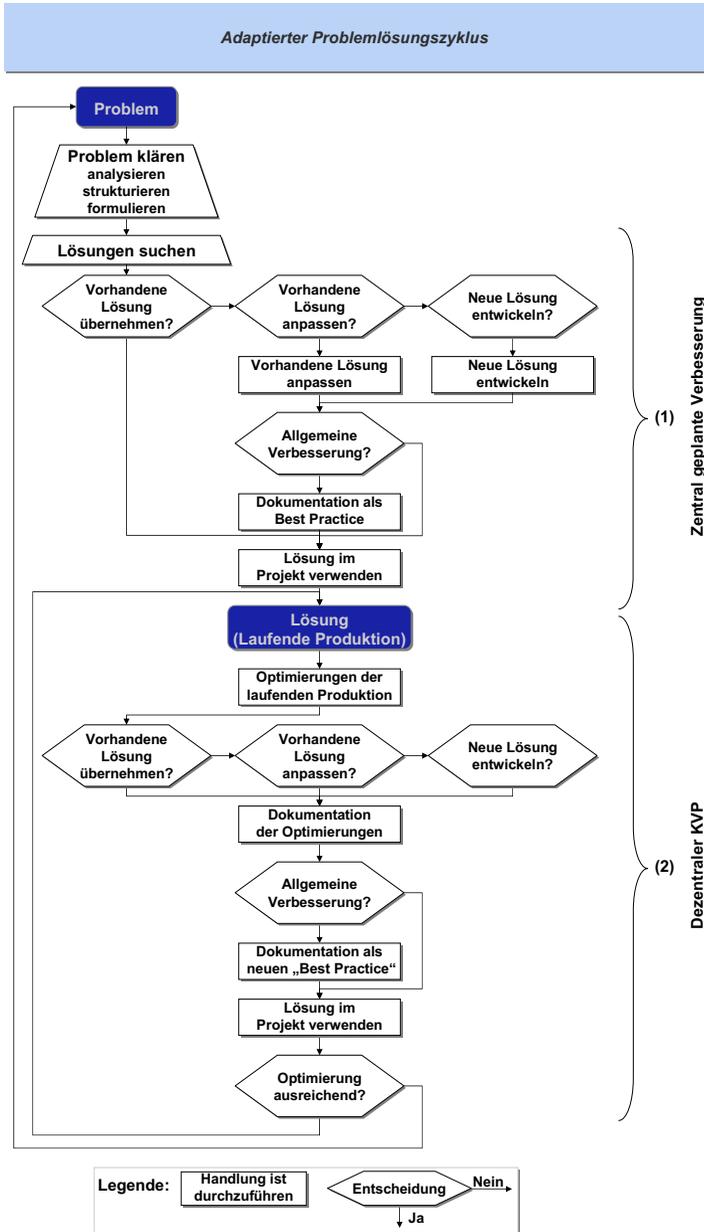


Abbildung 38: Adaption des Problemlösungszyklus der Produktentwicklung

In Kapitel 4 wurde dargelegt, dass Kosteneinsparungseffekte, die auf wiederholter Prozessdurchführung und damit auf Lerneffekten basieren, durch die reine Verkürzung der Produktionszeit lediglich zu einer anteiligen Einsparung bezogen auf die Gesamtkosten führen [LETMATHE 2002] (vgl. Abschnitte 4.3.4 und 4.3.5). Erfahrungseffekte setzen sich hingegen aus einem Zielbündel wie der Reduktion von Materialverschwendung, der Reduktion von unerwünschten Nebenprodukten, dem Erreichen von Qualitätszielen, der Reduktion von Rüstzeiten oder der Elimination von Produktstörungen etc. zusammen. Mit einer Dokumentation von Verbesserungsprozessen wird das Wissen hinsichtlich technikbezogener Erfahrungseffekte weitergegeben. Bei einer schrittweisen Einführung auf unterschiedlichen Märkten kann so die Minderung der Produktionseffizienz bei einem Neuanlauf, verglichen mit einer bereits bestehenden Produktion, abgeschwächt werden.

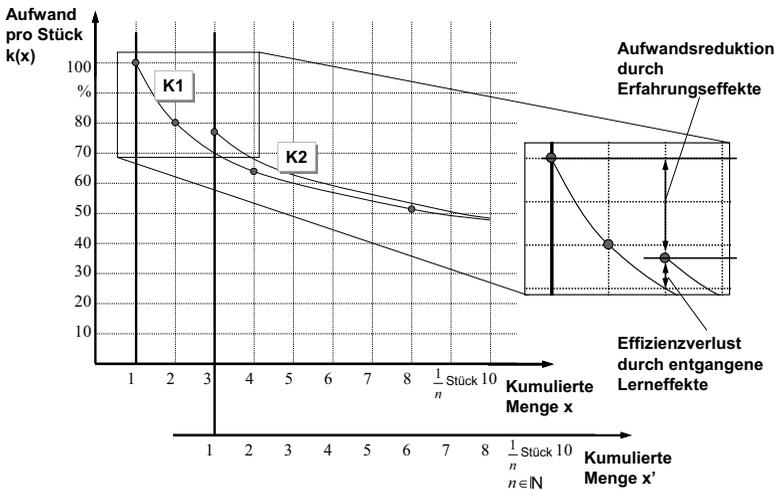


Abbildung 39: Standortübergreifende Nutzung von Erfahrungseffekten

Abbildung 39 zeigt den Verlauf der Kosten und damit die Kostensenkung, welche auf Lern- und Erfahrungseffekte zurückzuführen ist (Kurve K1). Mit einer geeigneten Dokumentation der erreichten Prozessverbesserungen können diese beim Aufbau weiterer vergleichbarer Produktionssysteme genutzt werden. Somit liegt der Anfangsaufwand für die Produktion in weiteren Systemen niedriger

(Kurve K2). Damit wird es möglich, die Stückzahl auszuweiten, die Fertigungskosten abzusenken und individualisierte Produkte einem größeren Kundenkreis zugänglich zu machen (vgl. Abschnitt 4.3.7).

6.5.5 Zusammenfassung des Konzepts

Bei der derzeitigen und künftigen Produktion ersetzen Prozesswissen und virtuelle Absicherung in zunehmendem Maße langwierige Prozesse zum Erreichen der geplanten Effizienz in der realen Produktion. Steigender Kostendruck und verkürzte Innovationszyklen veranlassen Unternehmen dazu, sowohl bei der Produkt- als auch bei der Produktionsentwicklung Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, welche eine Optimierung von Prototypen in einer virtuellen Umgebung zulassen. Voraussetzungen hierfür sind die Verfügbarkeit der notwendigen Information in ausreichender Qualität sowie Abläufe und rechnerbasierte Werkzeuge für deren Bearbeitung.

7 Wirtschaftlichkeitskorridor

7.1 Vorgehen und Detaillierungsstufen bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In den einleitenden Kapiteln dieser Arbeit sowie in der zusammenfassenden Bewertung des Standes von Forschung und Technik wurde die aktuelle Situation von Anbietern anspruchsvoller technischer Produkte charakterisiert. Ansteigender Konkurrenzdruck auf zunehmend gesättigten Märkten im globalen Wettbewerb zwingt die Produktionsunternehmen dazu, neue Methoden für eine gesteigerte Kundenorientierung zu finden und gleichzeitig die Kosten im Rahmen zu halten, so dass die Produkte wirtschaftlich herstellbar und einem großen Kundenkreis zugänglich sind. Ebenfalls wurde dargestellt, dass ein entsprechendes Nachfragepotenzial bezüglich individualisierter technischer Produkte auf den Märkten erkennbar ist, jedoch die derzeit sehr hohen Kosten einer zunehmenden Verbreitung dieser Produkte entgegenstehen. Mit den derzeit verwendeten Fertigungsprozessen individualisierter Komponenten von mechatronischen Produkten sind signifikante Kostensenkungen kaum erzielbar. Mit dem Konzept der marktnahen Produktion im industriellen Maßstab wird ein Weg aufgezeigt, individualisierte Produkte einem breiteren Kundenkreis zur Verfügung zu stellen. Es soll bestehende Produktionskonzepte nicht ersetzen, sondern in Verbindung mit etablierten Prinzipien der Massen- und Serienfertigung neue Absatzchancen und Verdienstmöglichkeiten für Produktionsunternehmen erschließen. Ansätze einer weltweit präsenten Entwicklung und Produktion erweisen sich zunehmend als geeignete Instrumente, um der Herausforderung der Erschließung von Märkten erfolgreich zu begegnen. Unbestritten ist, dass Transparenz und Wissen im Unternehmen in diesem Umfeld für den Unternehmenserfolg deutlich mehr beitragen als eine Steigerung von Economies of Scale unter rein kostenbezogener Betrachtung. Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Kostensenkung bei der Fertigung individueller Komponenten gegenüber dem heutigen Niveau. Aus produktionsbezogener Sicht ist eine effiziente, integrierte Planung von wandlungsfähigen Fabriken bei hoher Planungsqualität relevant. Bei einer Betrachtung der Wirtschaftlichkeit spielen folgende Überlegungen eine Rolle: Strategien der Kundenorientierung zielen derzeit in erster Linie auf eine weit gefächerte Variantendiversifikation ab. Die Produktkomponenten werden unter Verwendung konventioneller Verfahren hergestellt. Strategien einer Produktindividualisierung

und *marktnaher Produktion* werden mit unterschiedlichen Zielrichtungen *getrennt* voneinander verfolgt. In diesem Kapitel werden daher folgende Fragen behandelt:

- Bietet das Konzept einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte aus produktionsbezogener Sicht *belegbare* wirtschaftliche Vorteile, oder erscheint dies nur bei der *theoretischen* Betrachtung so?
- In welchem Umfang tragen die vorgestellte Produktionsstruktur und das Vorgehen für Planung und Dokumentation zur wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit des Wertschöpfungsmodells bei?

Um zu diesen Fragen einen Beitrag zu leisten, werden im Folgenden Ansätze für Produktindividualisierung und Marktnähe dahingehend untersucht, unter welchen Voraussetzungen die marktnahe Produktion individualisierter Produkte zu einem nachhaltigen Wettbewerbsvorteil führen kann. Für einen auf die Wirtschaftlichkeit bezogenen Vergleich mit dem etablierten Prinzip der variantenreichen Serienproduktion ist eine rein produktionsbezogene Betrachtung nicht ausreichend, da hierbei Kosten für Fehlentwicklungen, Produkthanpassungen, hohe Lagerbestände und Abschreibungen auf nicht absetzbare Erzeugnisse oder Umsatzeinbußen durch Rabatte unberücksichtigt bleiben. Derartige Kosten „*beeinflussen aber auf der Ebene des gesamten Wertschöpfungs-systems dessen Wettbewerbsfähigkeit erheblich*“ [REICHWALD & IHL 2004]. Beim Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Wertschöpfungsmodelle sind Einflüsse von erheblicher Anzahl, Vielfalt und Komplexität zu berücksichtigen. Hinzu kommt, dass ein bestimmter Anteil dieser Einflüsse von vorne herein nicht monetär bewertbar ist. Bei Fragestellungen wie etwa der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Standortverlagerung kommen daher Verfahren wie die Nutzwertanalyse oder die Arbeitssystemwertermittlung zum Einsatz. Überlegungen zum wirtschaftlichen Nutzen der marktnahen Produktion individualisierter Produkte können daher nicht die Darstellung eines formelmäßigen Zusammenhangs zwischen einzelnen Aufwänden und erzielbaren Erlösen zum Ziel haben. In diesem Kapitel soll vielmehr ein Wirtschaftlichkeitskorridor hergeleitet werden, dessen Umfang mit Erfahrungswerten aus der industriellen Praxis und der Forschung begründet wird.

Für die Betrachtung des wirtschaftlichen Nutzens der marktnahen Produktion individualisierter Produkte sind mehrere Stufen erforderlich (Abbildung 40).

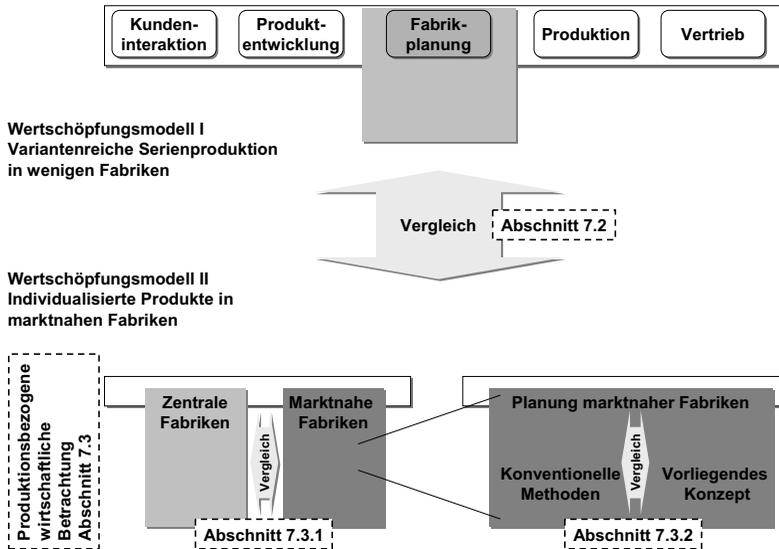


Abbildung 40: Stufen beim Vergleich der beiden Wertschöpfungsmodelle

Abschnitt 7.2 umfasst den ersten Schritt der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Dort werden die Wertschöpfungsmodelle von der variantenreichen Serienproduktion sowie der industriellen Produktion individualisierter Produkte einander gegenüber gestellt. Aufwand sowie Nutzenpotenziale bei der Herstellung individualisierter Produkte ändern sich im Vergleich zur variantenreichen Serienproduktion im gesamten Tätigkeitsbereich von Produktionsunternehmen vom Marketing über die Entwicklung und Produktion bis hin zum Vertrieb. Themen wie verstärkte Kundenbindung oder emotionale Kaufanreize durch Differenzierung sind zwar von wesentlicher Bedeutung bei individualisierten Produkten, haben jedoch wenig Bezug zu produktionstechnischen Fragestellungen. Diese Themen, die in erster Linie in der Disziplin der Betriebswirtschaft angesiedelt sind, werden daher im folgenden Abschnitt kategorisiert genannt, jedoch in der Arbeit nicht weiter detailliert behandelt.

In Abschnitt 7.3 wird mit dem zweiten und dem dritten Schritt eine produktionsbezogene wirtschaftliche Betrachtung durchgeführt. Im zweiten Schritt (Abschnitt 7.3.1) werden Ansätze einer marktnahen Produktion mit einer Produktion in wenigen Werken verglichen. Dafür werden erzielbare höhere Erlöse sowie

Einsparungen, die auf einer *marktnahen Produktion* basieren, systematisch betrachtet. Diese Potenziale werden mit *Erfahrungswerten aus der Praxis* belegt. Hierfür werden Beispiele herangezogen, in denen eine Nachfragebündelung an Hauptabsatzmärkten eine ausreichende Motivation darstellt, dort einen weiteren Produktionsstandort zu eröffnen. Dabei wird der in dieser Arbeit vorliegende Fall von komplexen technischen Produkten, die ausgehend von einer hochwertigen Basisversion individualisiert werden, fokussiert.

Im dritten Schritt wird in Abschnitt 7.3.2 betrachtet, welcher unternehmensinterne Aufwand nötig ist, um Potenziale einer marktnahen Produktion wie beispielsweise erhöhte Absatzchancen oder die Einsparung von Logistikkosten zu nutzen. Es wird aufgezeigt, welche Faktoren zu einer wirtschaftlichen Umsetzung mehrerer Fabriken mit vergleichbaren Kernkompetenzen beitragen.

In Abschnitt 3.1 dieser Arbeit wurde eine Gegenüberstellung der Wertschöpfungsmodelle

- der variantenreichen Serienproduktion,
- der heutigen Produktindividualisierung sowie
- der marktnahen Produktion individualisierter Produkte

in Bezug auf wesentliche Kostenarten beschrieben [REICHWALD & IHL 2004]. Dabei liegen die Kosten für die heutige Produktindividualisierung unter Verwendung von derzeit etablierten Verfahren deutlich über den Kosten für eine variantenreiche Serienproduktion. Die Senkung der Herstellkosten, welche einen erheblichen Anteil zu dieser Kostendifferenz beitragen, wurde als Handlungsbedarf für die vorliegende Arbeit identifiziert. Es wird daher aufgezeigt, inwieweit der interne Aufwand für eine Produktindividualisierung und eine marktnahe Produktion mit dem in der Arbeit vorgestellten Konzept gegenüber konventionellen Vorgehensweisen gesenkt werden kann (Abschnitt 7.3.2). Zu diesem Zweck werden die Teillösungen des in Kapitel 5 beschriebenen Konzepts schrittweise aufgegriffen und bewertet (Unterabschnitte 7.3.2.2 bis 7.3.2.4). Die einzelnen Teillösungen des vorgestellten Lösungsansatzes werden mit Beispielen aus der Literatur und Erfahrungswerten aus der Praxis belegt.

In Abschnitt 7.5 werden die Ergebnisse zusammengefasst und es wird eine Kriterienliste abgeleitet, anhand welcher für einen spezifischen Anwendungsfall die prinzipielle Eignung einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte

beurteilt werden kann. Dieser Kriterienkatalog umfasst Indikatoren, die sich auf das Produkt und die Produktion beziehen und Aspekte hinsichtlich Individualisierungseignung sowie Eignung für eine Produktion in Absatzmarktnähe berücksichtigen.

7.2 Betrachtung auf Wertschöpfungssystem-Ebene

Auf zunehmend gesättigten Märkten ist allein durch Kostenführerschaft kein nachhaltiger Wettbewerbsvorteil mehr zu erzielen. Selbst mit der Strategie einer starken Produktdiversifikation kann kaum mehr ein Alleinstellungsmerkmal erreicht werden. Potenziale liegen vermehrt darin, die individuelle Kundennachfrage zu bedienen und gleichzeitig das Risiko für Fehlentwicklungen und Bestände an schwer verkäuflichen Produkten zu senken. Die einschlägige Literatur aus dem Bereich der Betriebswirtschaftslehre zeigt Potenziale kundenindividueller Produkte wie beispielsweise erhöhte Zahlungsbereitschaft des Kunden, geringere Akquisitions- und Marketingkosten durch eine Steigerung der Kundenbindung oder neue Umsatzmöglichkeiten durch Zusatz-, Ersatz- oder Ergänzungsleistungen auf [PILLER 2003; PINE 1993; REICHWALD & IHL 2004]. Eine umfangreiche Sammlung an Fallbeispielen findet sich beispielsweise in [PILLER 1998]. Ebenso zeigt die Disziplin der Betriebswirtschaft die Wichtigkeit einer engen Interaktion zwischen dem Kunden und dem Anbieter auf und entwickelt neue Vorgehensweisen, um Kundenwünsche effizient und genau zu erfassen.

Bedingt durch mangelnde Marktkenntnis entwickeln produzierende Unternehmen häufig Produkte, die dann nicht auf dem Markt eingeführt werden bzw. die zwar vermarktet werden, jedoch nicht den gewünschten Erfolg erzielen. Unterschiedliche empirische Untersuchungen zeigen, dass die Rate von nicht erfolgreichen Produkten (Produkte, die nicht auf den Markt gelangen oder die vorzeitig wieder vom Markt genommen werden) zwischen 30% und 70% liegt [REICHWALD 2004; LÜTHJE 2004]. Die genaue Kenntnis von Kundenanforderungen ist also gerade bei der Erschließung neuer Märkte ein entscheidender Erfolgsfaktor.

Auf der Ebene der Wertschöpfungssysteme kann die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte nur in einem Gesamtzusammenhang verschiedener Disziplinen sinnvoll beurteilt werden. Im folgenden Abschnitt 7.3 wird eine produktionsbezogene Betrachtung fokussiert. Die Senkung der Herstellkosten ist dabei der Schwerpunkt des Unterabschnitts 7.3.2.

7.3 Produktionsbezogene Betrachtung

7.3.1 Marktnahe Fabriken – wenige zentrale Werke

7.3.1.1 Erschließung geschlossener Märkte

Eine Erschließung von global verteilten Absatzmärkten ist häufig nur unter Berücksichtigung gesetzlicher Auflagen der Importländer durchführbar. Hierzu zählen beispielsweise Gesetze, die eine Wertschöpfung im Absatzland vorschreiben (Local-Content). Um in Ländern mit derartigen Vorschriften Zugang zum Markt finden zu können, richten produzierende Unternehmen so genannte „Completely Knocked Down“ Produktionsstätten ein (vgl. Abschnitt 4.5.2). Produzierende Unternehmen sind gefordert, *„global verteilte Produktionsstandorte aufzubauen und zu betreiben. Treiber hierfür sind zum einen die immer wichtiger werdende Marktnähe (Kundennähe), zum anderen die Erfüllung von „Local-Content“-Anforderungen [...]“* [SCHUH ET AL. 2004 B].

Fazit

Da Einfuhrzölle bis zu 245% des Produktpreises betragen können [RAUCH 1997], macht in diesen Fällen eine marktnahe Wertschöpfung den Markteintritt überhaupt erst wirtschaftlich interessant. Es bleibt in diesem Fall jedoch anzumerken, dass Gesetze hinsichtlich einer Wertschöpfung im Absatzland vornehmlich bei wirtschaftlich schwächeren Ländern vorzufinden sind. Zielsetzung ist es, die heimische Wirtschaft durch eine Ansiedelung von Industrie und damit eine Schaffung von Arbeitsplätzen zu stärken. In diesen Regionen sind gerade bei komplexen technischen Produkten keine annähernd gesättigten Märkte vorzufinden. Daher sind diese Länder keine primäre Zielgruppe für individualisierte Produkte. Ziel ist hier eher eine breit angelegte Versorgung der Märkte mit Standardprodukten, welche nach konventionellen Methoden hergestellt werden. Die Erschließung von neuen Absatzchancen mittels Produktindividualisierung steht dagegen bei den früh industrialisierten Ländern im Vordergrund.

7.3.1.2 Strategische Markterschließung

Neben den im vorangegangenen Abschnitt genannten gesetzlichen Vorschriften und damit in erster Linie monetär nachrechenbaren Gründen kann eine Produktion in der Nähe wichtiger Absatzmärkte strategisch begründet sein. Eine marktnahe Produktion schafft Arbeitsplätze in der Nähe der Absatzmärkte und kann so

zu einem positiven Image des produzierenden Unternehmens beitragen. Beispiele für diese „*Markterschließung durch Produktionsaktivitäten*“ liefert die BMW Group. Bei der Erschließung neuer Fahrzeugsegmente (Roadster, Light Trucks) wurde die Produktionsstätte direkt im Hauptabsatzmarkt platziert. In der Regel sind die in Abschnitt 7.3.1.1 genannten monetär rechenbaren Gründe für eine marktnahe Produktion gemeinsam mit der strategischen Markterschließung zu betrachten. So erwartet BMW durch eine lokale Fertigung in China „*einen „Spartanburg-Effekt“, das heißt: eine höhere Marktakzeptanz als local player im chinesischen Markt*“ [REITHOFER 2003].

Fazit

Bei einer Produktion, die tendenziell den Absatzmärkten folgt, wird es möglich, das vor Ort hergestellte Produktprogramm auf das spezifische, lokale Nachfrageverhalten auszurichten. Bei bestehenden Ansätzen der Industrie wird dies durch eine Positionierung der Produktionsstätten in der Nähe von *Hauptabsatzmärkten* deutlich. Durch die Produktion vor Ort können emotionale Markteintrittsbarrieren überwunden und die Marktakzeptanz erheblich gesteigert werden. So erhöhte sich in den zehn Jahren nach Eröffnung des Werks in Spartanburg der Absatz in den USA um das Fünffache [REITHOFER 2003] und erfuhr somit, bezogen auf die Entwicklung der gesamten Produktionsmenge, eine überproportionale Steigerung. Während der größte Teil der hergestellten Produkte im Hauptabsatzmarkt verkauft werden kann, ist der restliche Anteil der Produktion auf ggf. weltweit verteilten Märkten abzusetzen.

7.3.1.3 Transport- und Logistikkosten

Für den Fall von komplexen technischen Produkten treten die logistischen Vorteile einer geografischen Nähe von Produktionsstätten zu den Abnehmermärkten gegenüber anderen Faktoren häufig in den Vordergrund [DANTZER & RÖHRIG 2004; SCHLOTT 2002]. Als wichtigste Gründe für Absatzmarktnähe werden

- der Aufwand für die Steuerung von Logistikketten,
- die Transportkosten und
- die Transportzeit

genannt. Der Aufwand für die Logistik und den Transport hat unter Berücksichtigung anderer Einflussfaktoren für die Standortwahl, wie beispielsweise Lohn-

gefälle etc., einen unterschiedlich starken anteiligen Einfluss auf die Produktionskosten und damit auf die Rentabilität von marktnaher Produktion. Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf die industrielle Produktion komplexer technischer Produkte, welche ausgehend von einer hochwertigen Basisversion nach Kundenwünschen individualisiert werden. Bereits bei der variantenreichen Serienproduktion von auftragsgebundenen Produkten ist zu beobachten, dass aufgrund eines nicht langfristig prognostizierbaren Kundenverhaltens, wegen einer hohen Spezifität einzelner Baugruppen und bedingt durch das dort gebundene Kapital, eine Aufrüstung nach Kundenspezifikationen und die Fertigstellung des Produkts vorzugsweise in Marktnähe erfolgen. Technische Produkte höherer Komplexität erfordern bei ihrer Herstellung eine Vielzahl an Wertschöpfungsschritten. Dementsprechend nehmen der Wert der Produktkomponenten und damit das gebundene Kapital bis hin zum fertigen Endprodukt im Produktionsprozess erheblich zu. Folglich ist es das Ziel, Warte-, Transport- und Liegezeiten der fertigen Produkte zu minimieren, wozu eine Fertigstellung der Produkte in der Nähe der Absatzmärkte wesentlich beiträgt. Die Fertigung der individuellen Komponenten erfordert ein vergleichsweise hohes technologisches Niveau am Produktionsstandort sowie eine entsprechende Qualifikation der Mitarbeiter. Wie in den einleitenden Kapiteln sowie im Abschnitt 7.3.1.1 bereits erwähnt, ist die Herstellung von individualisierten Produkten ein Instrument, um auf Käufermärkten mit Sättigungstendenzen neue Absatzchancen für Hersteller von Produkten höherer technischer Komplexität zu eröffnen. In Regionen, die einen derart hohen Verbreitungsgrad von Technologie aufweisen, ist auch ein entsprechendes Qualifikationsniveau der vor Ort ansässigen Arbeitskräfte vorzufinden. Weitere Gründe für eine Produktion in Absatzmarktnähe sind das Volumen und die Empfindlichkeit von technischen Produkten. Mechatronische Produkte sind im Allgemeinen wesentlich empfindlicher als Rohmaterialien und machen daher häufig eine spezielle Behandlung beim Transport erforderlich. Zudem lassen sich die Produkte meist nicht in einer räumlich dicht gepackten Anordnung transportieren. Marktnahe Produktion trägt somit zu einer Vereinfachung der Logistikkomplexität und zur Kostensenkung bei, wie die Beispiele im folgenden Abschnitt verdeutlichen.

Fazit

Um Logistikketten zu verkürzen, eröffnen beispielsweise Zuliefererunternehmen Standorte in der Nähe ihrer Abnehmer [SCHUH ET AL. 2004 B]. „Darüber hinaus ist

ein Verkürzen der Logistikkette in Zeiten einer Just-in-Time-Versorgung für Zuliefererunternehmen häufig [ein] zwingender Grund für die Eröffnung von Standorten in der Nähe des Kunden“ [SCHUH ET AL. 2003 A]. Erfahrungen aus der Industrie belegen die Möglichkeit der Kostensenkung durch eine Produktion in Absatzmarktnähe. Beispielsweise im Bereich des Automobilbaus sprechen Veröffentlichungen, wie schon in Abschnitt 1.1.4 des einleitenden Kapitels erwähnt, von wesentlichen Kostensenkungspotenzialen durch marktnahe Produktion: *„Würde Ford einen in Valencia gefertigten Focus nach Deutschland transportieren, wäre er durch die Transportkosten teurer, als ein Auto aus Köln.“* [SCHLOTT 2002]. Zulieferer der Automobilindustrie konnten mit einer Produktion in der Nähe ihrer Abnehmer ihre Logistikkosten von 25 bis 35% auf 20% der Fertigungskosten reduzieren [KOCH 2003]. Die Verbindung von hoher Spezifität der verbauten Produktkomponenten mit der Komplexität sowie dem hohen Wert der Endprodukte führt bereits bei der variantenreichen Serienproduktion zu einer Vielzahl an Argumenten für eine marktnahe Produktion.

7.3.1.4 Entkoppelung von Wechselkursschwankungen

Bei global agierenden Unternehmen mit weltweit fließenden Waren- und Geldströmen zeigt sich häufig, dass aufgrund von Wechselkursschwankungen, die in der auftretenden Bandbreite oder Zeitdauer nicht absehbar waren, die Wirtschaftlichkeit von weltweit verteilten Produktionsstandorten erheblich beeinflusst. So können Gewinne ansteigen oder aufgezehrt werden, oder es ist möglich, dass die Auswirkungen der veränderten Wechselkurse auf den Endpreis den Absatz unerwartet ansteigen oder einbrechen lassen. Mit marktnaher Produktion ist es möglich, die Auswirkungen von Wechselkursschwankungen als Turbulenzfaktor einzugrenzen und so die Planungssicherheit zu steigern.

7.3.2 Heterogene marktnahe Produktionsstätten – Planung von vergleichbaren Fabrikvarianten

7.3.2.1 Aufbau des Vergleichs

Ausgehend von der marktnahen Produktion als Wertschöpfungsmodell (vgl. Abschnitt 6.2.1) werden die Bestandteile des in Kapitel 5 beschriebenen Konzepts zur Strukturierung, Planung und Erfahrungsdokumentation bei marktnaher Fertigung individueller Produktkomponenten aufgenommen und aus wirtschaftlicher Sicht überprüft. Bei dieser Betrachtung werden zum Teil mehrere Elemente des

Konzepts miteinander verkettet hinsichtlich ihrer Eignung zur Senkung der Fertigungskosten individueller Bauteile im Vergleich zu heutigen Vorgehensweisen beurteilt.

7.3.2.2 Kernkompetenzen marktnaher Fabriken

Da individualisierte Teile erst nach der Spezifikation durch den Kunden hergestellt werden und damit nicht vorproduzierbar sind, ist eine kurze Fertigungsdurchlaufzeit für individualisierte Komponenten eine Voraussetzung für eine schnelle Reaktion auf die Kundenorder. Individualisierte Komponenten werden in marktnahen Fabriken gefertigt und nicht weiter an Systemlieferanten vergeben. Die erzielbaren kurzen Durchlaufzeiten sprechen dabei für eine Fertigung im eigenen Unternehmen: *„Für Einzel- und Kleinserienfertiger und mehr noch für Mittel- und Großserienfertiger lassen sich signifikante Durchlaufzeitverkürzungen realisieren, wenn die Fertigungstiefe steigt“*, so eine empirische Studie des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung [KINKEL & LAY 2003]. Dies fällt laut Auswertung der Studie deutlich bei der Herstellung *„Komplexe[r] Produkte in Einzel- und Kleinserie“* und *„Komplexe[r] Produkte in Mittel- und Großserie“*, verglichen mit einfachen Produkten, ins Gewicht und entspricht damit den Produktarten und Produktionsprinzipien, die im Fokus der vorliegenden Arbeit stehen. Laut der genannten Studie erzielen Unternehmen, die ihre Fertigungstiefe erhöhen, *„gerade bei komplexen Produkten höhere Umsatzerlöse und schneiden bei den Fertigungszeiten besser ab“*.

7.3.2.3 Fabriken für die marktnahe Produktion

Das in dieser Arbeit vorgestellte Prinzip einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte setzt einen vergleichbaren Aufbau der marktnahen Fabriken voraus. Beim Ansatz der marktnahen Produktion in verteilten Fabrikvarianten sind modular aufgebaute, nach dem Baukastenprinzip strukturierte Fabriken dem Ansatz gegenüber zu stellen, in einem heterogenen Konglomerat mit unterschiedlichen Einzellösungen zu produzieren. Dies ist beispielsweise bei Einzelfertigern oder bei „virtuellen Fabriken“ (vgl. Abschnitt 4.4.6) oder gewachsenen Strukturen von Werksverbänden der Fall. Im Bereich der Produktentwicklung ist die Thematik einer baureihenübergreifenden Nutzung von gemeinsamen Plattformkomponenten zum Generieren von verschiedenen Varianten eines Grundprodukts bereits umgesetzt [KLAUKE ET AL. 2002]. Beispielsweise werden im Volkswagenkonzern *„nachweislich wirtschaftliche Vorteile“* genannt. Diese lassen sich unter

anderem durch folgende Vorteile von plattformbasierten Produkten im Vergleich zu heterogenen Produkten nutzen:

- Verringern der Teilevielfalt, daraus folgen geringere administrative Kosten in allen Bereichen
- Weltweiter Teileaustausch möglich
- Erhöhen der Anlaufqualität durch Nutzen von Erfahrung der Ersteinsetzer
- Geringerer Entwicklungsaufwand

Durch eine Analogiebildung zwischen Produkt- und Fabrikvarianten lassen sich für Fabriken, die auf vorkonfigurierten Modulen basieren, im Vergleich zu einem Konglomerat unterschiedlicher Fabriken die folgenden wirtschaftlichen Potenziale ableiten. Die angeführten Beispiele aus der Literatur zeigen, dass diese Potenziale bei einzelnen Ansätzen bereits teilweise ausgeschöpft werden.

- Verringern der Vielfalt an Verfahren: Durch eine Fokussierung auf standardisierte Produktionsprozesse erhöht sich das Lernpotenzial, Verbesserungen können als „Best Practices“ weitergegeben werden (vgl. z. B. [KORTENBRUCK & DÖRENBACH 2004]).
- Weltweiter Tausch bzw. Weiterverwendung von Werkzeugen oder Betriebsmitteln möglich: Bei einer Standardisierung der Bedingungen in den Werken („Produktionssystem“) hat die Firma Honda eine Halbierung des Investments für künftige Neuanläufe errechnet [SHIPLETT 2003].
- Erhöhen der Anlaufqualität: Es ist eine tendenziell zunehmende Effizienz durch die Nutzung von der Erfahrung aus den bereits erfolgten Prozessdurchführungen zu erwarten.
- Weniger Entwicklungsaufwand: Bei der Fabrikkonzeption ist weniger Detailplanungsaufwand erforderlich. Mitarbeiter aus der Produktionsplanung können durch Wiederverwendung von Information [KARLSSON & DE VIN 2002] von Routinearbeiten entlastet werden.

Ansätze der Modularisierung bergen über die genannten prinzipiellen Vorteile bei der Fabrikplanung (Eingrenzung von Änderungen etc., vgl. Kapitel 4) oder den Beitrag zur Senkung des Gesamtaufwandes bei der Erstellung mehrerer vergleichbarer Varianten hinaus weitere Potenziale. Mit der Zerlegung von komple-

nen Problemen in Teilprobleme und der Entwicklung einzelner Teillösungen kann bei neuen Aufgabenstellungen unter Umständen bereits auf funktionierende Untereinheiten zugegriffen werden. Der Rückgriff auf derartige vorkonfigurierte Elemente spart Zeit bei der Ausarbeitung auftragspezifischer Lösungen. Abbildung 41 [SCHENK ET AL. 2001] zeigt am Beispiel von individualisierbaren Produkten die tendenzielle Abhängigkeit zwischen dem Grad der Modularisierung und der auftragspezifischen Durchlaufzeit. Eine Analogiebildung lässt bei der Fabrikplanung unter Verwendung vorkonfigurierter Module auf eine Zeitverkürzung zwischen dem Planungsstart und der Fertigstellung des Produktionssystems (Produktionsstart) schließen.

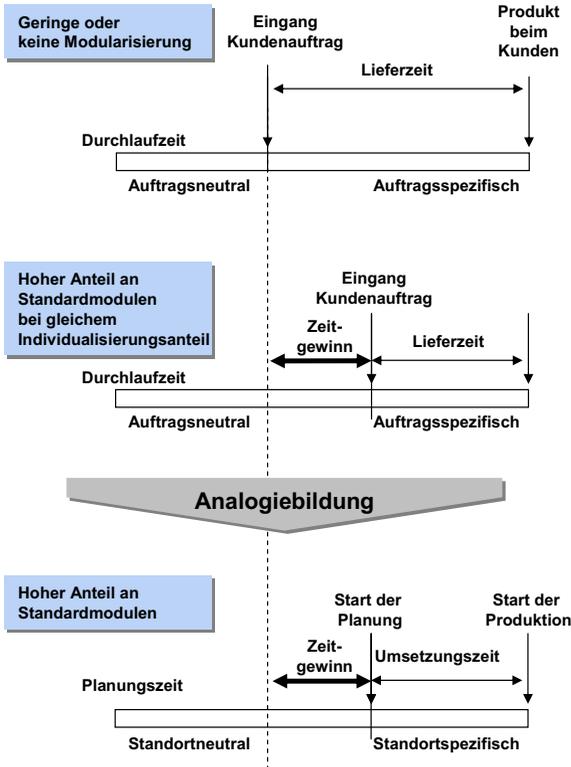


Abbildung 41: Modularisierung zur Verkürzung der Durchlaufzeit von Produkten (nach [SCHENK ET AL. 2001]) und Analogie in der Fabrikplanung

Ansätze der Modularisierung leisten somit in zweierlei Hinsicht einen Beitrag zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung. Neben der unmittelbaren Einsparung von Arbeitsaufwand und -zeit bei der fallspezifischen Ausarbeitung wirken sich insbesondere die Zeiteinsparung bei der Planung und die damit mögliche frühere Marktpräsenz positiv auf das erzielbare Ergebnis aus. So kann umgekehrt eine Verlängerung der Entwicklungszeit um 6 Monate eine Ergebniseinbuße von 30% verursachen [SCHMELZER & BUTTERMILCH 1988; LINDEMANN & REICHWALD 1998].

7.3.2.4 Effiziente Planungsprozesse und Virtuelle Produktion

In den letzten Jahren wurden, besonders bei global agierenden Unternehmen, umfangreiche Aktivitäten zur Einführung der Prozesse und Werkzeuge einer integrierten digitalen Planung unternommen. Dabei reicht das weite Feld der Digitalen Fabrik von der Produktentwicklung bis zur rechnerintegrierten Produktion. Veröffentlichungen von großen Unternehmen mit komplexen, arbeitsteiligen Abläufen, beispielsweise Siemens oder DaimlerChrysler, sprechen davon, dass mit digitalen Werkzeugen im Zusammenspiel mit geeigneten neuen Arbeitsweisen Reduktionen bei den Planungszeiten von bis zu 40% möglich sind, wobei ca. 80% dieser Einsparungen durch die neuen Arbeitsmethoden bedingt sind [REINFELDER & KOTZ 2002; HALLER & SCHILLER 2002]. Neben der unmittelbaren Einsparung von Arbeitsaufwand trägt eine schnelle Produktionsplanung zu einer frühen Markteinführung neuer Produkte bei (vgl. oben genannte Potenziale). Sind die umfangreichen Planungsdaten abteilungs- und projektphasenübergreifend zugänglich, wird eine Auswertung unter verschiedenen Aspekten erleichtert. Unzulänglichkeiten in der Planung werden bereits in der Planungsphase erkennbar. Durch Versäumnisse bei der Planung werden häufig sehr hohe Kosten bei der Realisierung von Fabriken verursacht. So haben *„mehrere Firmen aus dem Bereich der Automobilindustrie [...] unabhängig voneinander festgestellt, dass mehr als 5% (in USA und Japan bis zu 15%) der Investitionssumme eingespart werden können“* [FRÖHLICH 2002]. Ein Ansatz, um derartige Optimierungspotenziale zu nutzen, ist die Zuhilfenahme von digitalen 3D-Modellen der Umgebung und der Anlagen bei der virtuellen Fabrikplanung.

7.4 Wirtschaftliche Eignung für einen Anwendungsfall

In den vorangegangenen Kapiteln und Abschnitten wurde ein produktionsbezogenes Konzept vorgestellt, welches dazu beiträgt, die Kosten für eine industrielle

Fertigung individualisierter Produktkomponenten in Absatzmarktnähe systematisch zu senken. Neben dieser produktionsbezogenen Betrachtung wirken sich weitere Einflussfaktoren auf eine wirtschaftlich sinnvolle Umsetzung der marktnahen Produktion individualisierter Produkte aus. Hier sind Faktoren wie der Kundenwunsch nach Individualisierung des in Rede stehenden Produkts, seine technische Komplexität und die damit erforderlichen technologischen oder manuellen Prozesse für seine Herstellung zu nennen. Schließlich ist zu betrachten, ob für einen Anwendungsfall bei der Produktion die Vorteile der Absatzmarktnähe überwiegen. Ein genauer formelmäßiger Zusammenhang zwischen der Ausprägung einzelner Einflussfaktoren und der Wirtschaftlichkeit der marktnahen Produktion individualisierter Produkte ist daher nicht darstellbar, ebenso, wie beispielsweise die Rentabilität von Ansätzen der Mass Customization nicht zahlenmäßig exakt bestimmbar ist. Mit dem in dieser Arbeit abgegrenzten Betrachtungsraum und den in Kapitel 7 genannten Beispielen steht ein Korridor zur Verfügung, innerhalb welchem Entscheidungen hinsichtlich einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte getroffen werden.

Innerhalb eines betrachteten Korridors gibt es Indikatoren, welche von vorne herein eine Beurteilung über die grundsätzliche Eignung einer Produktgattung für die Individualisierung zulassen. Durch eine spezifische Erweiterung lassen sich derartige Indikatoren für eine Beurteilung der marktnahen Produktion individualisierter Produkte ausweiten.

Folgende Indikatoren weisen bei einer Produktgattung auf eine grundsätzliche Eignung hinsichtlich einer Individualisierung nach dem Prinzip der Mass Customization hin (nach [PILLER 1998]):

- Das Produkt bietet vielfältige Varietätsoptionen.
- Das Produkt steht in Bezug zu den Körpermaßen des Benutzers.
- Es handelt sich um langlebige, komplexe Güter.
- Das Produkt gehört zur Klasse der Luxus- und Spezialitätengüter mit anspruchsvollen Nachfragern.
- Die Variantenvielfalt ist in den letzten Jahren stetig angestiegen.
- Die Absatzmärkte des Produktes sind traditionell fragmentiert.

- Der Absatzmarkt für das Produkt (Grundprodukt mit allen individuellen Kombinationen) ist ausreichend groß.
- Das Produkt befindet sich nicht in der abnehmenden Phase des Produktlebenszyklus.
- Es gibt in Entwicklung und Konstruktion Ansatzpunkte, die interne Varietät des Produkts zu verringern.
- Marketingmaßnahmen können den Kunden den speziellen Nutzen eines individuellen Produkts deutlich machen.

Um über die Individualisierbarkeit hinaus die Eignung für eine marktnahe Produktion zu beurteilen, lässt sich diese Sammlung an Indikatoren, in erster Linie aufbauend auf den in der vorliegenden Arbeit angeführten Erkenntnissen aus der Literatur und aus Praxisbeispielen, um folgende Kriterien erweitern:

- Bei den Ausprägungen existieren stark unterschiedliche Nachfrageschwerpunkte in verschiedenen Märkten.
- Alleinstellungsmerkmale oder Produktspezifika sind nicht an den Herstellungsort gebunden.
- Es gibt unterschiedliche gesetzliche Regelungen hinsichtlich bestimmter Produktausprägungen.
- Der manuelle Anteil an der Wertschöpfung ist gering (ansonsten Tendenz zur Verlagerung in „Niedriglohnländer“).
- Die Fertigung individueller Umfänge kann mit innovativen industriellen Verfahren erfolgen.
- Die fertigen Produkte sind empfindlich (hohe Anforderungen hinsichtlich Transport, Verpackung etc.).
- Die fertigen Produkte sind schlecht stapelbar und nur aufwändig verpackbar.
- Die Produkte zeichnen sich durch eine hohe Variantenzahl bzw. eine hohe Kundenspezifität aus.
- Die fertigen Produkte sind nicht im Niedrigpreissegment angesiedelt.

- Es gibt gesetzliche Auflagen für eine Wertschöpfung vor Ort bzw. es bestehen Einfuhrzölle oder -steuern.
- Die Herstellung der Produkte trägt zu einem positiven Image des Anbieters bei (beispielsweise durch Schaffung attraktiver Arbeitsplätze oder durch eine ökologisch vorbildliche Produktion etc.).

7.5 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Trotz der immensen Bedeutung des Themas der Produktionskosten im globalen Wettbewerb steht auf Käufermärkten mit Sättigungstendenzen eine rein fertigungsbezogene Kostensenkung durch weitere Perfektionierung herkömmlicher Methoden nicht im Vordergrund. Die Fähigkeit von Produktionsunternehmen, schnell auf Marktanforderungen zu reagieren und die gefragten Produkte effizient herzustellen und gewinnbringend zu verkaufen, ist zunehmend ein Erfolgsfaktor. Eine gesteigerte Orientierung an Kundenanforderungen ist jedoch nicht zu jedem Preis auf den einzelnen Märkten erfolgreich. Es gilt, die Balance zwischen Kundenorientierung und Kostendruck zu finden. Die Umsetzung einer gezielteren Marktbearbeitung erfordert zwar innerhalb von Produktionsunternehmen einen höheren Aufwand als dies bei einer unspezifischen Produktion der Fall wäre, eröffnet aber zugleich höhere Absatzpotenziale. Bei derartigen Strategien kommt also eine Kombination aus verbesserten Absatzpotenzialen bei gleichzeitigen Maßnahmen zur Beherrschung der Kosten zum Tragen.

Verdeutlichen lässt sich dies am Beispiel der variantenreichen Serienproduktion. Beim Übergang von Verkäufer- zu Käufermärkten ist in der Regel eine Erweiterung des Produktangebotes über kundenanonyme Varianten bis zu kundenspezifischen Varianten festzustellen. Um in der industriellen Serienproduktion kundenspezifische Varianten herstellen zu können, wurden geeignete Steuerungsstrategien erarbeitet, die in den letzten Jahren vermehrt durch die Entwicklung von geeigneter Software begleitet wurden. Damit gelingt es, den Aufwand und die Komplexität für die produktionsbegleitende Planung und Steuerung, wie beispielsweise bei Just-in-Time(JIT)- oder Just-in-Sequence(JIS)-Lieferungen, zu beherrschen. In Verbindung mit den notwendigen technischen Lösungen für stückzahl- und variantenflexible Produktionssysteme ist der Aufwand für eine derart flexible Produktion mit Sicherheit höher als dies bei einer ausgereizten Produktion von nur einer bzw. sehr weniger Produktvarianten der Fall wäre. Eine hohe verfügbare Vielfalt an Produktvarianten und technischen

Optionen wurde daher bisher in der Regel in hochpreisigen Segmenten einer Produktgattung eingeführt. Bei einem entsprechenden Erfolg und den damit verbundenen Erfahrungseffekten wurde die Strategie auf die Herstellung größerer Stückzahlen zu niedrigeren Preisen ausgeweitet. Im heutigen turbulenten Umfeld zeigt sich, dass gerade diejenigen Anbieter erfolgreich sind, die frühzeitig Strategien für eine hohe Reaktionsfähigkeit entwickelt haben und heute für eine optimierte Bearbeitung fragmentierter Märkte gut aufgestellt sind.

In analoger Weise bietet der Ansatz der Produktindividualisierung eine Möglichkeit, in Kombination mit bestehenden Konzepten der Massen- und Serienproduktion, Potenziale für eine Differenzierung und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit auszuschöpfen. Hierzu trägt die Nutzung des Produktionsfaktors Wissen in hohem Maße bei. Auf der Seite der Absatzsteigerungspotenziale sind bei der marktnahen Produktion individualisierter Produkte die Erschließung von Märkten durch Produktionsaktivität vor Ort (über gesetzliche Auflagen hinaus) oder eine verbesserte Kundeninteraktion zu nennen. Auf der Seite der Maßnahmen zur Kostenbeherrschung stehen das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept für einen Fabrikaufbau sowie die beschriebenen Abläufe bei der Fabrikplanung und bei der Dokumentation und Weitergabe von Prozesswissen. Im Vergleich zur marktnahen Produktion in heterogenen, eigenständigen dezentralen Produktionsstätten, welche Erfahrungseffekte nicht ausschöpfen können, trägt das in der vorliegenden Arbeit beschriebene Planungskonzept zur standortübergreifenden Nutzung von stückzahlgebundenen Kostensenkungseffekten bei. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien. So wird es in zunehmendem Maße möglich, in der Produktion Hardware (z. B. Werkzeuge) durch Software (z. B. Steuerungsprogramme für Werkzeuge und Handhabungseinrichtungen) zu ersetzen. Auf der Seite der Planung wird eine Integration von Planungsinformation unterstützt, was ein Absenken des Aufwandes für die digitale Absicherung, Weitergabe und Umsetzung von Planungslösungen zulässt.

Die in den vorangegangenen Abschnitten genannten empirischen Zahlen und Fakten aus der industriellen Praxis beziehen sich auf die in dieser Arbeit spezifizierte Produktgruppe. Damit können die vorhandenen Potenziale mit dem benötigten Aufwand für deren Erschließung in ein Verhältnis gesetzt werden. Bedingt durch produktionstechnische Innovationen ist die industrielle Herstellung individualisierter Produkte in zunehmendem Maße ein Ansatz, welcher nennenswerte neue

Absatzmöglichkeiten eröffnen kann. Wie auch bei anderen technischen Innovationen ist zunächst eine Einführung in geringen Stückzahlen zu vergleichsweise höheren Preisen in entsprechenden Marktsegmenten notwendig. Mit den gewonnenen Erfahrungen sind breitere Marktsegmente zu erschließen.

8 Exemplarische Anwendung in der Industrie

8.1 Allgemeines

In den vorangegangenen Kapiteln wurden für das Wertschöpfungsmodell einer marktnahen Produktion individualisierter Produkte eine Produktionsstruktur sowie ein Planungsvorgehen beschrieben, die dazu beitragen, auch bei räumlich verteilten Produktionsstandorten Effizienzsteigerungspotenziale von industriellen Prozessen zu nutzen. Neben einem modularen Aufbau der Fertigungsbereiche für individualisierte Produktkomponenten mit einer standardisierten Auslegung von Produktionsprozessen und Betriebsmitteln wurde die Integration von Planungsprozessen für diesen Anwendungsfall beschrieben. Eine Vorgehensweise für die Gestaltung und Integration von Planungsprozessen sowie deren Unterstützung mittels digitaler Werkzeuge wurde vorgestellt.

Themen wie eine gesteigerte Kundenorientierung durch eine zielgerichtete Ausweitung des Produktangebots oder eine Dezentralisierung von Entwicklung und Produktion sind, verglichen mit der marktnahen Produktion individualisierter Produkte, in abgeschwächter Form bereits heute in Produktionsunternehmen zu erkennen. In Verbindung mit den kürzer werdenden technischen Innovationszyklen führt dies zu einer Zunahme der Anzahl an Planungsvorhaben. Die Entwicklung von integrierten Prozessen für die Planung gewinnt daher seit einigen Jahren erheblich an Bedeutung. Das vorliegende Kapitel beschreibt die exemplarische Anwendung der Vorgehensweisen aus dem Teilbereich der Prozessgestaltung in gemeinsamen Projekten mit der Industrie. Im Rahmen mehrerer Projekte, welche in ihrer Abfolge in verschiedenen inhaltlichen Phasen direkt aufeinander aufbauen, wurde die Einführung innovativer Prozesse für eine integrierte und abteilungsübergreifende Planung bei einem Unternehmen aus der Automobilindustrie begleitet.

8.2 Ausgangssituation

Das betrachtete Unternehmen agiert auf einem globalen Markt, der durch Sättigungstendenzen und Verdrängungswettbewerb gekennzeichnet ist. Innovation ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Als Folge sind kürzer werdende Innovationszyklen zu realisieren, neue Produkttypen auf den Märkten einzuführen und das Angebot an Varianten der einzelnen Produkttypen auszuweiten. Die Produkte werden in global verteilten Werken hergestellt, in Verbindung mit der Strategie einer

dezentralen Produktion, die tendenziell den Absatzmärkten folgt. Die daraus resultierende steigende Anzahl an Produktionsanläufen, verteilt auf die verschiedenen Fabriken, hat ein zunehmendes Planungsvolumen zur Folge und stellt hohe Ansprüche an die zugehörige Projektkoordination.

Das Unternehmen führt daher eine zielgerichtete Weiterentwicklung von Engineering-Prozessen unter Einführung von geeigneten IT-Lösungen durch. Aufgrund seiner Größe und Komplexität ist das Unternehmen überwiegend durch arbeitsteilige Abläufe gekennzeichnet. In diesem Zusammenhang ist meist eine heterogene Systemlandschaft beim Planungsvorgehen sowie bei den eingesetzten Werkzeugen zu beobachten. Bei der Planung von Produktionsressourcen werden Projektdaten häufig in unterschiedlichen digitalen Werkzeugen erstellt und gepflegt und sind mit Daten anderer Abteilungen abzugleichen (vgl. [WAGNER ET AL. 2003]).

8.3 Zielsetzung

Mitarbeiter der Produktionsplanung finden sich zunehmend in einer Multi-Projekt-Situation wieder. Vor dem Hintergrund eines stark ansteigenden Planungsvolumens ist allein eine Beschleunigung bekannter Planungsprozesse, beispielsweise durch Parallelisierung von Tätigkeiten unter vermehrtem Mitarbeiterinsatz, nicht zielführend. Es ist vielmehr das Ziel, durch eine abteilungsübergreifende Vernetzung von Planungsprozessen und -werkzeugen die Mitarbeiter der Planung von Routineaufgaben zu entlasten und so die Effizienz zu steigern. Aus diesem Grund soll Planungsinformation, sobald sie verfügbar ist, dokumentiert werden. Hierfür sind die Struktur der Information sowie die verwendeten IT-gestützten Planungswerkzeuge so festzulegen, dass eine disziplinenübergreifende Nutzung der Information möglich ist.

8.4 Vorgehensweise

8.4.1 Gliederung der Projektphasen

In den verschiedenen Phasen der gemeinsamen Projekte wurde die Entwicklung von Planungsprozessen für eine Integration von Fabrik- und Prozessplanung begleitet. Die Projekte umfassten dabei Schritte von der Analyse von Prozessanforderungen über die Festlegung von Referenzprozessen bis hin zu Maßnahmen zur Realisierung eines Testbetriebs.

In der ersten Projektphase waren die Soll-Prozesse für vernetzte Abläufe und einen durchgängigen Datenaustausch zu spezifizieren. Diese sind in Abhängigkeit von den eingesetzten Werkzeugen sowie von der Intensität der organisatorischen Zusammenhänge zwischen verschiedenen Planungsbereichen unterschiedlich. Hierfür wurden die aktuellen Anforderungen an Planungsprozesse und -systeme in Abhängigkeit von der Produktionstechnologie differenziert. Auf dieser Basis ließ sich das Einsatzpotenzial von Integrationslösungen (Anbindung von Fabrikplanung, Simulation etc.) ermitteln. In der nächsten Phase wurde der Bereich der Montage für die Detaillierung der spezifischen Soll-Prozesse gewählt. Dort steht die methodische Anbindung von Integrationslösungen bei der Fabrik-, der Prozess- und der Materialflussplanung im Vordergrund. In der dritten Phase wurden auf der Basis einer Systematisierung von Schnittstellen zwischen Fabrik-, Prozess- und Materialflussplanung gemeinsame übergreifende Abläufe, Testszenarios und Maßnahmen für die Einführung festgelegt.

8.4.2 Analyse von Prozessanforderungen

Wie in Abschnitt 6.5.2 beschrieben, unterscheiden sich die Arbeitsabläufe, die im Planungsprozess verwendeten Werkzeuge sowie der Grad der Interaktion einzelner Sichtweisen in Abhängigkeit von den zu planenden Ressourcen.

Um den Anforderungen eines härter werdenden Wettbewerbs und nicht langfristig prognostizierbaren Marktanforderungen gerecht zu werden, wurden in den letzten Jahren Strategien für eine größtmögliche Stückzahl- und Variantenflexibilität in der Produktion entwickelt. Als Folge wurden angepasste Abläufe von der Produktentwicklung über die Fabrikplanung bis hin zur Produktionssteuerung erforderlich. Das turbulente Umfeld hat so die Produktion und damit die Anforderungen an Planungsprozesse in den letzten Jahren wesentlich verändert. Um einerseits mit einer Ausweitung des Produktangebots die Anforderungen von möglichst vielen Kunden zu erfüllen, andererseits schnell und mit stabilen Prozessen auf die Kundenorder reagieren zu können, wurden Konzepte umgesetzt, um die Varietät im Produktionsablauf bis kurz vor Fertigstellung des Produkts gering zu halten. Abbildung 42 zeigt am Beispiel des Automobils die Entwicklung der Anzahl an Produktvarianten im Produktionsprozess. Ausgangspunkt ist der *Karosserierohbau*. Daran schließt sich die Weiterbearbeitung der Rohkarosserie an (*Oberfläche*), bis schließlich eine lackierte Fahrzeugkarosserie vorliegt, welche für die *Montage* fertig ist. Durch eine geeignete Produktgestaltung kann

der Variantenbestimmungspunkt des Produktes auf einen späten Zeitpunkt im Produktionsprozess verschoben werden (Abbildung 42).

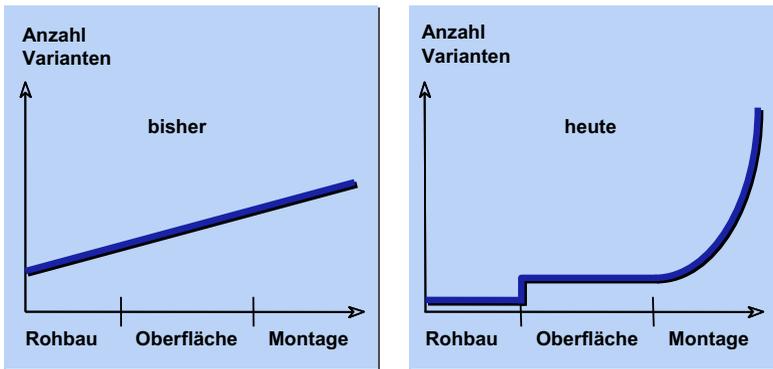


Abbildung 42: Spätere Variantendifferenzierung bei heutigen im Vergleich zu früheren Produktionsprozessen [ZUBER ET AL. 2000]

Die unterschiedlichen Zielrichtungen in den einzelnen Phasen des Produktentstehungsprozesses führen zu unterschiedlichen Anforderungen im Produktionsplanungsprozess und wirken sich damit auf Ansätze der Prozess- und Werkzeugintegration bei der Planung aus.

In der ersten Projektphase wurde ermittelt, welche Effizienzsteigerungspotenziale in den Produktionsbereichen „Rohbau“ und „Montage“ bei der Einführung integrierter, digital unterstützter Planungsprozesse prinzipiell erschlossen werden können. Hierzu wurden für die Anwendungsfelder die unterschiedlichen beteiligten Sichten, Arbeitsweisen und Planungswerkzeuge sowie der Grad der Interaktion untersucht. Im Bereich „Rohbau“ wurde in den letzten Jahren die Anzahl an Produktvarianten abgesenkt. In Verbindung mit Tätigkeiten, die hohe Ansprüche hinsichtlich Bauteilhandhabung und Genauigkeit beim Produktionsprozess erfordern, ist hier in den letzten Jahren eine weitgehend vollständige Automatisierung angestrebt worden. Zielgröße bei der Planung ist daher in erster Linie eine optimale Auslastung der kostenintensiven Fertigungsressourcen. Im Bereich „Montage“ hat sich die Anzahl der herzustellenden Produktvarianten erheblich gesteigert. Wesentliche Anforderung ist hier die schnelle und sichere Umsetzung der Kundenorder in der Herstellung von Fahrzeugen, welche vom Kunden bei bis zu 10^{17} theoretisch möglichen Kombinationsmöglichkeiten (vgl. [WAGNER ET AL. 2003]) zusammengestellt wurden. Aufgrund dieser Komplexität und der benötig-

ten Variantenflexibilität ist die Montage überwiegend durch manuelle Arbeitsplätze gekennzeichnet. Von zentraler Bedeutung ist hier die Versorgung der Montage mit den benötigten Teilen zur richtigen Zeit unter Nutzung geeigneter Bereitstellungsstrategien. Unter Berücksichtigung des Hallen-Layouts und des Bandverlaufes ist hier eine integrierte Planung der Montagereihenfolge und der Logistikflächen notwendig. Der Bandverlauf und die mögliche Aufteilung von Flächen sind im Bereich der Layout-Planung angesiedelt und werden als Eingangsgrößen für die Prozess- und die Materialflussplanung benötigt. Abteilungsübergreifende Planungsprozesse sowie eine Harmonisierung von Strukturen zeigen in diesen Bereichen hohe Effizienzsteigerungspotenziale.

8.4.3 Festlegung von Referenzprozessen

Um die erwünschte Effizienzsteigerung durch vernetzte Planungsabläufe zu erzielen, ist es erforderlich, dass Informationen zwischen Abteilungen weitergegeben und im Anschluss ohne aufwändige Kontroll- oder Nachbearbeitungstätigkeiten genutzt werden können. Daher ist ein abteilungsübergreifendes gemeinsames Prozessverständnis der Mitarbeiter notwendig. Basierend auf einer Analyse der Arbeitsabläufe in den beteiligten Abteilungen wurden bei den zu planenden Produktionsressourcen diejenigen Attribute identifiziert, die von mehreren Abteilungen zur Bearbeitung benötigt werden. Die Bezeichnungen der Attribute wurden harmonisiert und es wurde festgelegt, welche Abteilung für die Generierung der Information zuständig ist. Ausgehend von vorliegenden globalen Soll-Prozessen wurden Potenziale zur Beschleunigung und Effizienzsteigerung durch eine IT-gestützte Datenweitergabe identifiziert. Bei der Umsetzung der beschriebenen interdisziplinär ablaufenden Planung werden beispielsweise Informationen nicht mehr, wie bei der Layoutplanung bisher üblich, über Textfelder in der Layoutplanungs-Software festgehalten [WAGNER ET AL. 2003]. Über eine Eingabemaske wird die Information in einer Datenbank abgelegt, auf die andere Abteilungen zugreifen und so die Informationen unmittelbar auswerten und bearbeiten können. Mit der Spezifikation und Detaillierung von Referenzprozessen für den vorliegenden Anwendungsfall konnten Testszenarien für ausgewählte, abgegrenzte Bereiche definiert werden.

8.5 Ergebnisse und Erkenntnisse

Die ansteigende Planungshäufigkeit sowie die geforderte Steigerung der Planungsqualität machen neue Prozesse notwendig. Digitale Werkzeuge leisten ei-

nen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Planungsgeschwindigkeit sowie zur leichter verständlichen Beurteilung der Güte von Planungsszenarien. Mit den in den letzten Jahren verstärkt entwickelten Möglichkeiten zur Konfiguration und Integration stellen sie dabei die technologische Basis für eine Planung dar, deren Potenziale nur in Verbindung mit maßgeschneiderten Abläufen vollständig zugänglich werden.

In vergleichbarer Weise wie bei Ansätzen des „Computer Integrated Manufacturing (CIM)“ zeigt sich auch bei der Digitalen Fabrik, dass die Vision einer vollständigen Integration nicht zwangsläufig zielführend ist. Gerade bei der Planung von komplexen Produkten sind bedingt durch unterschiedliche Fragestellungen und Werkzeuge die Überschneidungen zwischen verschiedenen Produktionsbereichen zum Teil gering. Auch aufgrund von unterschiedlichen Detaillierungsgraden der Informationen, die in verschiedenen Abteilungen benötigt werden, ist eine vollständige Standardisierung häufig nicht durchführbar. Durch eine Reduktion von Routine-Tätigkeiten sowie die Einführung angepasster Arbeitsweisen können sich im Zusammenspiel der einzelnen Bereiche im Planungsablauf Arbeitsschwerpunkte verschieben. Dies ist bei der Definition von angepassten Arbeitsabläufen von vorne herein zu berücksichtigen. Eine Gemeinsamkeit der individuellen Prozesse ist die integrierte Betrachtung unterschiedlicher Aspekte der geplanten Produktionsressourcen. Innerhalb eines Produktionsbereichs ermöglicht eine integrierte Planung deutliche Optimierungspotenziale.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Die Motivation der vorliegenden Arbeit resultiert aus Entwicklungen wie einer zunehmenden Heterogenisierung von Kundenwünschen, der Forderung nach kurzen Lieferzeiten, einer fortschreitenden Erschließung weltweit verteilter Absatzmärkte sowie einer Globalisierung der Produktion. Bei anspruchsvollen technischen Produkten ist eine vergleichsweise breite Nachfrage nach individualisierten Produkten erkennbar, jedoch stehen deren weiterer Verbreitung die derzeit wesentlich höheren Kosten im Vergleich zu Serienprodukten gegenüber. Die Analyse des Standes von Forschung und Technik ergab, dass bereits Vorgehensweisen bezüglich der Herausforderungen in einzelnen Teilbereichen existieren bzw. entwickelt werden (Abbildung 43).

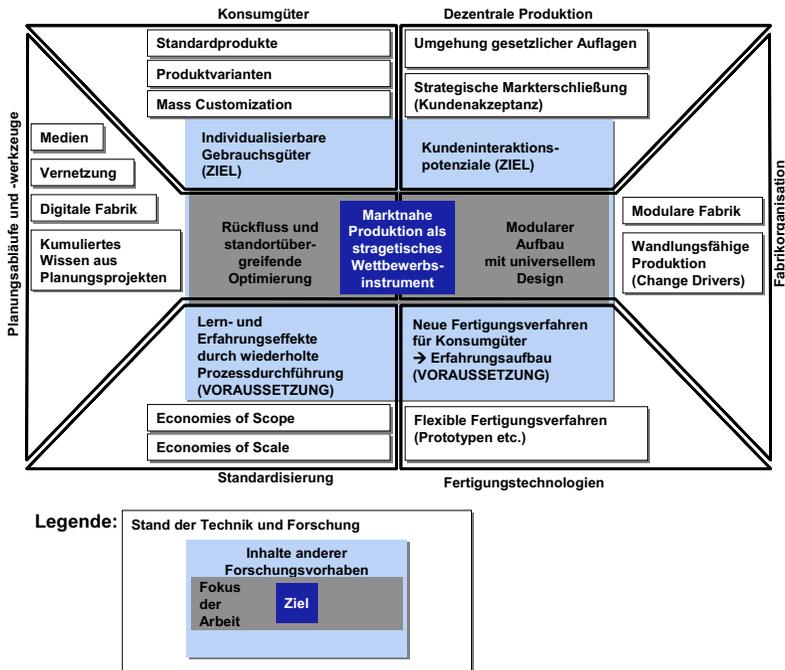


Abbildung 43: Einordnung der Arbeit

Als Beispiele sind Ansätze für eine erhöhte Kundenbindung durch individuelle Produkte oder für eine Produktion in der Nähe der Hauptabsatzmärkte zu nennen, ebenso wie die Erarbeitung von neuen Produktionsstrukturen und Planungsvorgehensweisen, um auf die Anforderungen eines zunehmend turbulenten Umfeldes zu reagieren (Abbildung 43).

Hinsichtlich der Individualisierung von technischen Sachprodukten wird die vorliegende Arbeit von zwei Themenkomplexen eingerahmt. Auf der einen Seite steht die von handwerklichen Prozessen geprägte Individualisierung. Diese nutzt die Vorteile der engen Kundeninteraktion zur Produktdefinition, ist aber gleichzeitig durch sehr hohe Kosten charakterisiert. Auf der anderen Seite steht die industrielle Produktion von Produkten mit der Strategie der Variantendiversifikation, deren Prozesse jedoch auch mit einer Weiterentwicklung und Perfektionierung nicht für eine wirtschaftliche Produktindividualisierung geeignet sind. Die marktnahe Produktion individualisierter Produkte positioniert sich zwischen den beiden genannten Ansätzen. Innovative, industriell geprägte Fertigungsprozesse unterstützen eine weitere Verbreitung individualisierter Produkte. Mit der Einbindung neuer Technologien in ein geeignetes Umfeld von Produktionsstrukturen, Prozessen und Abläufen können Kostensenkungspotenziale der industriellen Produktion zugänglich gemacht werden. Eingangsgröße für die vorliegende Arbeit sind daher Verfahren, die auf dem Gebiet der Fertigungstechnologien erarbeitet werden bzw. Verfahren aus dem Prototypenbau, die für eine Produktion von Gebrauchsgütern weiterentwickelt werden. Durch einen weiter verbreiteten Einsatz und den damit verbundenen Erfahrungsaufbau wird es möglich, die neuen Fertigungsverfahren sowohl von technologischer Seite als auch unter kostenseitiger Betrachtung besser zu beherrschen.

Die vorliegende Arbeit beschreibt ein Konzept für eine Produktionsstrukturierung sowie Prozesse für die Fabrikplanung und Wissensdokumentation, die auf eine Nutzung von Effekten der Erfahrungskurve trotz einer verteilten Gesamtstückzahl abzielen. Hierfür werden zur Konzeption vergleichbarer Fabrikvarianten Prinzipien der Modularisierung sowie Baukastenstrategien adaptiert. Damit wird seitens der Fabrikplanung ein Betrag geleistet, die Herstellkosten für individuelle Teile im Vergleich zum heutigen Niveau zu senken. Die vorliegende Arbeit betrachtet einen Korridor hinsichtlich der Größen Produktgattung, individualisierbare Produktumfänge, geeignete Produktionstechnologien und Materialien, innerhalb welchem eine marktnahe Produktion individualisierter Produkte prin-

ziell sinnvoll ist, und stellt einen Kriterienkatalog zur Verfügung, der Einzelfallentscheidungen unterstützt.

9.2 Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wird ein Konzept für die marktnahe industrielle Fertigung individualisierter Komponenten von mechatronischen Produkten aus der Sicht der Fabrikplanung vorgestellt. Es wurden Planungsprozesse und Werkzeuge beschrieben, die es ermöglichen, bei der Planung und Dokumentation von Produktionssystemen die Kompetenzen unterschiedlicher Beteiligter in interdisziplinären Planungssitzungen zu nutzen. Damit wird ein Abgleich der realen Produktion mit ihrem virtuellen Abbild unterstützt. Planungsszenarios können so in verschiedene, in der Regel vorhandene Rahmenbedingungen eingebettet werden. In der vorliegenden Arbeit wurde die Fertigung individueller Komponenten mittels innovativer Verfahren fokussiert. Darüber hinaus stellt die Herstellung individualisierter Produkte weitere Anforderungen an die Produktionsplanung und -steuerung, die über derzeit verbreitete Problemstellungen hinausgehen. Als Beispiel hierfür kann die produktionsbegleitende Auftragsplanung und -steuerung genannt werden. So können die benötigten Fertigungszeiten und -ressourcen für individuelle Teile in Abhängigkeit vom Kundenwunsch unter Umständen stark variieren. Im Rahmen möglicher weiterer Arbeiten aus thematisch angrenzenden Gebieten ist die Entwicklung von neuartigen Lösungen für die Auftragssteuerung und Prozessplanung denkbar. Schwerpunkte könnten hier die Anbindung der Fertigung individueller Teile an andere Fabrikbereiche (wie konventionelle Fertigung und Montage) sein, ebenso wie Konzepte für eine optimierte produktionsbegleitende Prozessplanung der Fertigung individueller Teile, um so eine bestmögliche Ressourcenauslastung zu erreichen. Seitens der Prozessplanung setzt dies eine genaue Kenntnis der in der Fabrik vorhandenen Ressourcen und damit eine enge Interaktion mit der Fabrikplanung voraus.

Aufbauend auf dem vorgestellten Planungsprinzip müssen weiterführende Arbeiten auf dem Gebiet der Fabrikplanung mit dem Ziel durchgeführt werden, die Planungsqualität bei gleichzeitiger Reduktion des Datengenerierungs- und Modellierungsaufwandes weiter zu steigern. Potenziale zeigen sich vor allem in einer verstärkten Integration von Werkzeugen und Methoden der „Augmented Reality“ [REINHART ET AL. 2003 C] in die beschriebene Planungsumgebung. Unter Zuhilfenahme derartiger Technologien kann der Modellierungsaufwand für die

digitale Fabrikplanung gesenkt werden. Dadurch lassen sich Abweichungen zwischen Virtueller Produktion und realer Produktion weiter reduzieren.

Kostspielige Produktionsstillstandszeiten, die durch Unstimmigkeiten in der Planungsinformation bei Anpassungen in der Produktion verursacht werden, sind so weit wie möglich zu reduzieren. Damit können gerade bei einer Erschließung weltweit verteilter Märkte durch Produktionsaktivitäten Kosten eingespart werden. Hierbei hilft eine Verlagerung der Optimierung von Anlauf- und Anpassungsprozessen in der Produktion von der Hardware hin zur Software. Mit der effizienten Umsetzung einer marktnahen Produktion individueller Komponenten, die in geeigneter Weise mit Produktbestandteilen aus der Massen- und Serienproduktion kombiniert werden, können Produktionsunternehmen durch verbesserte Kundenorientierung neue Absatzmöglichkeiten eröffnen und so auch unter veränderten Rahmenbedingungen erfolgreich produzieren.

10 Literatur

AGGTELEKY 1981

Aggteleky, B.: Fabrikplanung – Werkentwicklung und Betriebsrationalisierung. Band 1. München: Hanser 1981.

AURICH 2003 ET AL. 2003

Aurich, J. C.; Barbian, P.; Wagenknecht, C.: Prozessmodule zur Gestaltung flexibilitätsgerechter Produktionssysteme. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 98 (2003) 5, S. 214-218.

BERGER ET AL. 2004

Berger, P.; Carnevale, M.; Müller, S.; Schack, R.: Digitale Fabrik: von der Idee zur Einführung. In: Zäh, M.; Reinhart, G. (Hrsg.): Virtuelle Produktionssystemplanung – Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik, Garching. München: Utz 2004, S. 7/1-7/32. (*iwb* Seminarberichte 74)

BLEY & FRANKE 2001

Bley, H.; Franke, C.: Integration von Produkt- und Produktionsmodell mit Hilfe der Digitalen Fabrik. wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 4, S. 214-220.

BLEY ET AL. 2003

Bley, H.; Franke, C.; Zenner, C.: Variant Management in Production Planning. In: Weber, C.; Bley, H.; Hirt, G. (Hrsg.): Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken. Saarbrücken 2003, S. 317-322.

BOROWSKI 1961

Borowski, K.-H.: Das Baukastensystem in der Technik. Berlin: Springer 1961.

BROCKHAUS 2003

Brockhaus: Brockhaus Naturwissenschaft und Technik. Heidelberg: Akademischer Verlag 2003.

BROCKHAUS 2004

Brockhaus: Permanent aktualisierte Online-Auflage.
<<http://www.brockhaus.de>> 2004 (Stand 08/2005).

COMSTOCK & OSSBAHR 2000

Comstock, M.; Ossbahr, G.: Hyper-Flexibility – A Concept for a New Dimension in System Variability. In: Proceedings of the 33rd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Stockholm. Stockholm 2000, S. 372-377.

DANTZER & RÖHRIG 2004

Dantzer, U.; Röhrig, M.: Wie bitte geht es nach Osteuropa? wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 111-115.

DEILER 2001

Deiler, G.: Tiefziehwerkzeuge für Kleinserien – Kostengünstiges PUR-Gießsystem für Werkzeuge der Blechumformung. wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 7, S. 428-432.

DEPPE 2003

Deppe, M.: Schneller von der Idee bis zur Produktion – aber wie? wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 1/2, S. 91-93.

DE TONI & TONCHIA 1998

De Toni, A.; Tonchia, S.: Manufacturing flexibility: a literature review. International Journal of Production Research 36 (1998) 6, S. 1587-1617.

DIN 8580 1963

DIN 8580: Fertigungsverfahren. Berlin: Beuth 1963.

DOHMS 2001

Dohms, R.: Methodik zur Bewertung und Gestaltung wandlungsfähiger, dezentraler Produktionsstrukturen. Aachen: Shaker 2001. (Berichte aus der Produktionstechnik 11/2001). (Zugl.: Diss. RWTH Aachen 2000).

DORSCH & WALCHER 2004

Dorsch, S.; Walcher, D.: Kundenintegration im Mass Customization Projekt "mi adidas". In: Reichwald, R. (Hrsg.): Innovationserfolg durch Kundenintegration, München. <http://www.win-serv.de/standard.xml?vpID=31&SID=1116935356_99ab00000002feaeadd2> 2004 (Stand 05/2005).

DÜRRSCHMIDT 2001

Dürrschmidt, S.: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion. München: Utz 2001. (*iwb* Forschungsberichte 152). (Zugl.: Diss. TU München 2001).

DYCKHOFF 1998

Dyckhoff, H.: Grundzüge der Produktionswirtschaft. Berlin: Springer 1998.

ECKOLD 2005

Eckold: Umformtechnik
<<http://www.eckold.de>> (Stand 05/05)

EHRENSPIEL 1995

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung – Methoden Für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. München: Hanser 1995.

ENDERLEIN ET AL. 2003

Enderlein, H.; Hildebrand, T.; Müller, E.: PLUG + PRODUCE – die Fabrik mit Zukunft aus dem Baukasten. *wt Werkstattstechnik online* 93 (2003) 4, S. 282-286.

ETSPÜLER 2000

Etspüler, M.: Damit Gruppenarbeit klappt, müssen Facharbeiter ran. *Industrieanzeiger* 122 (2000) 28-29, S. 33-34.

EVERSHEIM 2001 A

Eversheim, W.: Die Einmalaufgabe mausert sich zum Dauerprozess. *Industrieanzeiger* 123 (2001) 40, S. 76.

EVERSHEIM 2001 B

Eversheim, W.: Mass Customization – Auswirkungen auf Produkt und Produktion. In: *Komplexitätsmanagement – Zwischen Einzigartigkeit und Vielfalt*, Aachen. Aachen: 2001, S. 8/1-8/20.

EVERSHEIM ET AL. 2002

Eversheim, W.; Lange-Stalinski, T.; Redelstab, P.: Wandlungsfähigkeit durch mobile Fabriken. *wt Werkstattstechnik online* 92 (2002) 4, S. 169-170.

EVERSHEIM & NEUHAUSEN 2001

Eversheim, W.; Neuhausen, J.: Modular Plant Architecture. *wt Werkstattstechnik online* 91 (2001) 10, S. 654-657.

EVERSHEIM & SCHUH 2003

Eversheim, W.; Schuh, G.: Standard, individualisiert – individuell. In: Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): *Marktchance Individualisierung*. Berlin: Springer 2003, S. 71-77.

FELDMANN & SLAMA 2001

Feldmann, K.; Slama, S.: Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Strukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz. *wt Werkstattstechnik online* 91 (2001) 8, S. 483-488.

FELITEC 2005

Felitec: Fahrzeugtechnik für Behinderte
<<http://www.felitec.de/sonderumbauten.htm>> (Stand 05/05)

FRÖHLICH 2002

Fröhlich, C.: Die Digitale Fabrik – Zukunft oder Realität? In: Zäh, M.; Reinhart, G. (Hrsg.): Fabrikplanung 2002: Visionen – Umsetzung – Werkzeuge, Garching. München: Utz 2002, S. 5/1-5/15. (*iwb* Seminarberichte 63)

GERHARDT & LANZA 2001

Gerhardt, A.; Lanza, M.: Die Überwindung der Arbeitsteilung durch die Digitale Fabrik. Tagung: Mitgliederversammlung des VDMA, Berlin. Berlin 2001.

GRUNWALD 2002

Grunwald, S.: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung. München: Utz 2002. (*iwb* Forschungsberichte 159). (Zugl.: Diss. TU München 2001)

HALLER & SCHILLER 2002

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

HARNISCH 2003

Harnisch, J.: Rapid Manufacturing of Individual Components. In: Reichwald, R.; Piller, F.; Tseng, M. (Hrsg.): Proceedings of the MCPC 03: 2nd Interdisciplinary World Congress on Mass Customization and Personalization, München. München: 2003.

HARTMANN 1996

Hartmann, M. (Hrsg.): Dynapro – Erfolgreich produzieren in turbulenten Märkten. Band 1: Anforderungen und industrielle Lösungsansätze. Stuttgart: Logis 1996.

HEINEN 1991

Heinen, E.: Industriebetriebslehre. 9. Auflage. Wiesbaden: Gabler 1991.

HENDERSON 1984

Henderson, B. D.: Perspectives on Experience – Die Erfahrungskurve in der Unternehmensstrategie. 2. Auflage. Frankfurt: Campus 1984.

HERNANDEZ 2003

Hernández Morales, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Düsseldorf: VDI Verlag 2003. (Fortschritt-Berichte VDI 16/149). (Zugl.: Diss. Universität Hannover 2002)

HILDEBRAND ET AL. 2003

Hildebrand, T.; Günther, U.; Mäding, K.; Opitz, A.; Schmiedl, N.: Integratives Konzept zum stufenweisen Ausbau von Typfabriken. In: Müller, E. (Hrsg.): Vernetzt planen und produzieren VPP 2003, Chemnitz. Chemnitz: TU Verlag 2003, S. 190-198.

HIRSCHBERG 2000

Hirschberg, A. G.: Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung. München: Utz 2000. (*iwb* Forschungsberichte 137). (Zugl. Diss. TU München 2000)

HIRT 2004

Hirt, G.: Innovationen und Technologietransfer für die Umformtechnik. Tagung: IHK Branchenforum, Saarbrücken Burbach. Saarbrücken 2004.

HOFFMANN 2003

Hoffman, H.: Fertigungszelle für die individuelle Blechteilefertigung in der Automobilindustrie. In: Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer 2003, S. 323-331.

KALUZA 1993

Kaluza, B.: Flexibilität, betriebliche. In: Wittmann, W.; Kern, W.; Köhler, R. (Hrsg.): Handbücher der Betriebswirtschaft. Teilband 1. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1993.

KARLSSON & DE VIN 2002

Karlsson, T.; De Vin, L. J. : Manufacturing Information Access Using Standards. In: Proceedings of the International Manufacturing Conference 19 (2002), S. 851-860.

KARLSSON & OSCARSON 2003

Karlsson, T.; Oscarson, J.: Information Transfer for Virtual Manufacturing Systems. In: Weber, C.; Bley, H.; Hirt, G. (Hrsg.): Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken. Saarbrücken 2003, S. 131-136.

KATZENSTEINER & RAUWALD 2003

Katzensteiner, T.; Rauwald, C.: Maßgeschneiderte Kanonenkugeln. Manufakturen – Luxus läuft. WirtschaftsWoche (2003) 38; <<http://www.wiwo.de/pswiwo/fn/ww2/sfn/buildww/id/617/id/34224/fm/0/artpage/1/artprint/0/SH/0/depot/0/index.html>> (Stand 07/2005).

KETTNER ET AL. 1984

Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R.: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München: Hanser 1984.

KIMURA & KAKUTA 2003

Kimura, F.; Kakuta, R.: Tailoring Manufacturing Systems for Large Production Volume Variations. In: Weber, C.; Bley, H.; Hirt, G. (Hrsg.): Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken. Saarbrücken 2003, S. 381-386.

KINKEL 2004

Kinkel, S.: Outsourcing und Auslandsverlagerung im verarbeitenden Gewerbe – Stand und Entwicklungen. In: Zäh, M.; Reinhart, G. (Hrsg.): Fabrikplanung 2004 – Erfolgsfaktor im Wettbewerb, Garching. München: Utz 2004, S. 6/1-3/18. (*iwb* Seminarberichte 72)

KINKEL & LAY 2003

Kinkel, S.; Lay, G.: Fertigungstiefe – Ballast oder Kapital? Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung. Fraunhofer ISI PI-Mitteilungen 30 (2003).

KLAUKE ET AL. 2002

Klauke, A.; Schreiber, W.; Weißner, R.: Zukunftsorientierte Fabrikstrukturen in der Automobilindustrie. wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 4, S. 144-148.

KOCH 2003

Koch, C.: Fabrikplanung – Konzentration auf das Wesentliche. In: Zäh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum, Garching. München: Utz 2003, S. 2/1-2/3. (*iwb* Seminarberichte 65)

KOENDERS 2004

Koenders, J.-C.: Perspektivenwechsel - Die neue Rolle des Kunden im Innovationsprozess. In: Reichwald, R. (Hrsg.): Innovationserfolg durch Kundenintegration, München.
<http://www.win-serv.de/standard.xml?vpID=31&SID=1116935356_99ab0000002feaeadd2> 2004 (Stand 05/2005).

KOHLHASE 1997

Kohlhase, N.: Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen. Strategien, Methoden, Instrumente. Düsseldorf: VDI Verlag 1997. (Fortschritt-Berichte VDI 1/275).

KORTENBRUCK & DÖRENBACH 2004

Kortenbruck, G.; Dörenbach, H.: Angepasste Planungssystematik für eine erfolgreiche Fabrikplanung – Die Fabrik des Jahres Gesamtsieger 2003. In: Zäh, M.; Reinhart, G. (Hrsg.): Fabrikplanung 2004 – Erfolgsfaktor im Wettbewerb, Garching. München: Utz 2004, S. 3/1-3/15. (*iwb* Seminarberichte 72)

KRESS 2000

Kress, M.: Maßgeschneidert auf virtueller Basis. Die Neue Fabrik 2000 – Produktion im Wandel. Landsberg: moderne industrie, S. 28-29.

LETMATHE 2002

Letmathe, P.: Flexible Standardisierung: Ein dezentrales Produktionsmanagement-Konzept für kleine und mittlere Unternehmen. Wiesbaden: Gabler 2002.

LINDEMANN & BAUMBERGER 2004

Lindemann, U.; Baumberger, C.: Marktchance Individualisierung - Chancen und Herausforderungen. In: Lindemann, U. (Hrsg.): Markt-nahe Produktion individualisierter Produkte – Industriekolloquium des Sonderforschungsbereichs 582, Garching. München: Utz 2004, S. 1/1-1/7.

LINDEMANN ET AL. 2003

Lindemann, U.; Baumberger, C.; Freyer, B.; Gahr, A.; Ponn, J.; Pulm, U.: Entwicklung individualisierter Produkte. In: Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer 2003, S. 13-29.

LINDEMANN ET AL. 2000

Lindemann, U.; Glander, M.; Grunwald, S.; Reicheneder, J.; Stetter, R.; Zanner, S.: Flexible Integration von Produktentwicklung und Montageplanung. *Industrie Management* (2000) 1, S. 23-27.

LINDEMANN & PONN 2004

Lindemann, U.; Ponn, J.: Produktindividualisierung – wirtschaftliche Planung und Gestaltung. In: Lindemann, U. (Hrsg.): Marktnahe Produktion individualisierter Produkte – Industriekolloquium des Sonderforschungsbereichs 582, Garching. München: Utz 2004, S. 4/1-4/16.

LINDEMANN & PULM 2001

Lindemann, U.; Pulm, U.: Modellierung und Eigenschaftsabsicherung von Produktspektren für Mass Customization. In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen. Düsseldorf: VDI Verlag 2001. (VDI-Berichte 1645)

LINDEMANN & REICHWALD 1998

Lindemann, U.; Reichwald, R. (Hrsg.): Integriertes Änderungsmanagement. Berlin: Springer 1998.

LINNER 2002

Linner, S.: Manufacturing Process Management – Mit der digitalen Fabrik in die Zukunft. In: Zäh, M.; Reinhart, G. (Hrsg.): Fabrikplanung 2002: Visionen – Umsetzung – Werkzeuge, Garching. München: Utz 2002, S. 4/1-4/14. (*iwb* Seminarberichte 63)

LINNER & GEYER 2003

Linner, S.; Geyer, M.: Human Aspects in Manufacturing Process Management. In: Zülch, G.; Stowasser, S.; Jagdev, H. S. (Hrsg.): Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on Human Aspects in Production Management. Volume 1, Karlsruhe. Aachen: Shaker 2003, S. 37-43.

LÜTHJE 2004

Lüthje, C.: Innovationserfolg durch Kundenintegration. In: Reichwald, R. (Hrsg.): Innovationserfolg durch Kundenintegration, München. <http://www.win-serv.de/standard.xml?vpID=31&SID=1116935356_99ab0000002feaeadd2> 2004 (Stand 05/2005).

MARCZINSKI 2004

Marczinski, G.: Digitale Fabrik - anspruchsvolle Technologien sinnvoll einsetzen. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 99 (2004) 11, S. 666-669.

MATT 2002

Matt, D.: Planung autonomer, wandlungsfähiger Produktionsmodule. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002) 4, S. 173-176.

MATTES 2004

Mattes, B.: Interview – Ford-Chef Mattes: „Sind in Europa auf einem guten Weg“ Wirtschaftswoche (2004) <www.wiwo.de> (Stand 06/2004)

MAYBACH 2004

Maybach: Der Maybach. Ein Meisterwerk von Hand <<http://www.maybachmanufaktur.de>> (Stand 10/04)

MEIER ET AL. 2004

Meier, H.; Dewald, O.; Zhang, J.: Inkrementelle Blechumformung mit Industrierobotern – Entwicklung eines matrizenfreien roboterbasierten inkrementellen Blechumformverfahrens. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 3, S. 66-69.

MILBERG 1996

Milberg, J.: Montieren wo die Märkte sind. In: 13. Deutscher Montagekongreß – Die Montage im internationalen Wettbewerb, München. Landsberg: moderne industrie 1996.

MILBERG 2000

Milberg, J.: Unternehmenspolitik im Wandel. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Münchener Kolloquium: ... nur der Wandel bleibt, Garching. München: Utz 2000, S. 312-331.

NASVYTIS 1953

Nasvytis A.: Die Gesetzmäßigkeiten kombinatorischer Technik. Berlin: Springer 1953.

NISSAN 2002

Nissan:
http://www.nissan.co.at/AKTUELL/NEWS/2001/24_Sunderland.html
(Stand 12/2002).

NOFEN ET AL. 2003 A

Nofen, D.; Klusmann, J.; Loellmann, F.: Transformability by Modular Facility Structures. In: Proceedings of the CIRP 2nd International Conference on Reconfigurable Manufacturing, Ann Arbor. Ann Arbor: 2003.

NOFEN ET AL. 2003 B

Nofen, D.; Klusmann, J. H.; Löllmann, F.; Wiendahl, H.-P.: Regelkreisbasierte Wandlungsprozesse. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 4, S. 238-243.

NOTTBECK 2004

Nottbeck, B.: Fabrik der Zukunft – Eine Herausforderung für den Standort Deutschland. In: Lindemann, U. (Hrsg.): Marktnahe Produktion individualisierter Produkte – Industriekolloquium des Sonderforschungsbereichs 582, Garching. München: Utz 2004, S. 6/1-6/11.

NYHUIS & MÜLLER-SEEGERS 2003

Nyhuis, P.; Müller-Seegers, M.: Qualification of Small and Medium-sized Car Suppliers for Mass Customization due to Suitable Factory, Production and Logistics Structures. In: Reichwald, R.; Piller, F.; Tseng, M. (Hrsg.): Proceedings of the MCPC 03: 2nd Interdisciplinary World Congress on Mass Customization and Personalization, München. München: 2003.

OST 2004

Ost, S.: Internationaler Fertigungsverbund für ABS und ESP bei der Robert BOSCH GmbH. In: Zäh, M.; Reinhart, G. (Hrsg.): Fabrikplanung 2004 – Erfolgsfaktor im Wettbewerb, Garching. München: Utz 2004, S. 7/1-7/14. (*iwb* Seminarberichte 72)

PANASONIC 2004

Panasonic: Panasonic – Struktur <[http://www.panasonic.de/unternehmen/\(qn4twf454awyaq45derafzj3\)/ct_struktur.aspx](http://www.panasonic.de/unternehmen/(qn4twf454awyaq45derafzj3)/ct_struktur.aspx)> (Stand 08/04)

PANDER 2004

Pander, J.: Vierte Porsche-Baureihe. Sportlich im Quadrat. Spiegel online <<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,297726,00.html>> (30.04.04)

PANSKUS 1988

Panskus, G.: Produktionslogistik – Aufgaben und Konzepte. Stuttgart: VDI Verlag 1988.

PICOT ET AL. 1998

Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R. T.: Die grenzenlose Unternehmung – Information, Organisation und Management. 3. Auflage. Wiesbaden: Gabler 1998.

PILLER 1998

Piller, F. T.: Kundenindividuelle Massenproduktion. Die Wettbewerbsstrategie der Zukunft. München: Hanser 1998.

PILLER 2001

Piller, F. T.: Mass Customization – Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. 2. Aufl. Picot, A.; Reichwald, R.; Franck, E. (Hrsg). Wiesbaden: Gabler 2001.

PILLER 2003

Piller, F. T.: Mass Customization – Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. 3. Aufl. Picot, A.; Reichwald, R.; Franck, E. (Hrsg.). Wiesbaden: dtv 2003.

PINE 1993

Pine, B. J.: Mass Customization – The New Frontier in Business Competition. Boston: Harvard Business School Press 1993.

RAUCH 1997

Rauch, M.: Aufschwung am Nil. BMW Magazin (1997) 4, S. 84-85.

REICHWALD 2004

Reichwald, R.: Wissensintensive Dienstleistungen zur Integration von Kunden in Innovationsprozesse. In: Reichwald, R. (Hrsg.): Innovationserfolg durch Kundenintegration, München. <http://www.win-serv.de/standard.xml?vpID=31&SID=1116935356_99ab00000002feaeadd2> 2004 (Stand 05/2005).

REICHWALD & IHL 2004

Reichwald, R.; Ihl, C.: ROI – Neue Pfade zur Wirtschaftlichkeit. In: Lindemann, U. (Hrsg.): Marktnahe Produktion individualisierter Produkte – Industriekolloquium des Sonderforschungsbereichs 582, Garching. München: Utz 2004, S. 3/1-3/16.

REICHWALD & PILLER 2002

Reichwald, R.; Piller, F. T.: Der Kunde als Wertschöpfungspartner: Formen und Prinzipien. In: Horst Albach et al. (Hrsg.): Wertschöpfungsmanagement als Kernkompetenz. Wiesbaden: Gabler 2002, S. 27-52.

REINFELDER & KOTZ 2002

Reinfelder, A.; Kotz, T.: 40 Prozent weniger Planungszeit. Automobil Produktion (2002) 5, S. 34-35.

REINHART ET AL. 2000 A

Reinhart, G.; Effert, C.; Grunwald, S.; Piller, F.; Wagner, W.: Mini-fabriken für die marktnahe Produktion. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 95 (2000) 12, S. 597-600.

REINHART ET AL. 2000 B

Reinhart, G.; Glander, M.; Grunwald, S.; Reicheneder, J.; Stetter, R.; Zanner, S.: Flexible Produktentwicklung und Montageplanung mit integrierten Prozessbausteinen. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 95 (2000) 1-2, S. 19-22.

REINHART ET AL. 1999

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

REINHART ET AL. 2003 A

Reinhart, G.; Haag, M.; Fusch, T.; Wagner, W.: Mit der Digitalen Fabrik zur Virtuellen Produktion. In: Zäh, M.; Hoffmann, H.; Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Münchener Kolloquium: Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art, Garching. München: Utz 2003, S. 137-158.

REINHART ET AL. 2001

Reinhart, G.; Patron, C.; Weber, V.: Augmented Reality in der Produktion. wt Werkstatttechnik online 91 (2001) 6, S. 325-327.

REINHART ET AL. 2000 C

Reinhart, G.; Selke, C.; Hirschberg, A.: Im Denken und Handeln wandeln. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): Münchener Kolloquium: ... nur der Wandel bleibt, Garching. München: Utz 2000, S. 17-40.

REINHART ET AL. 2000 D

Reinhart, G.; Weber, V.; Rudorfer, W.: Produzieren in Kompetenznetzwerken. In: Vernetzt planen und produzieren VPP 2000, Chemnitz. Chemnitz: TU Verlag 2000.

REINHART ET AL. 2000 E

Reinhart, G.; Weber, V.; Rudorfer, W.: E-Business in der Produktion – Zusammenarbeit in Kompetenznetzwerken. *iomangement* (2000) 12, S. 16-23.

REINHART ET AL. 2003 C

Reinhart, G.; Zäh, M. F.; Patron, C.; Doil, F.; Alt, T.; Meier, P.: Augmented Reality in der Produktionsplanung. *wt Werkstattstechnik online* 93 (2003) 9, S. 651-653.

REITHOFER 2003

Reithofer, N.: Faszination Produktion – Produktionsstrategie eines Premiumanbieters. In: Zäh, M.; Hoffmann, H.; Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): *Münchener Kolloquium: Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art*, Garching. München: Utz 2003, S. 81-94.

REITZLE 2001

Reitzle, W.: *Luxus schafft Wohlstand*. 1. Auflage. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 2001.

RONG & HAN 2003

Rong, Y.; Han, X.: Computer-aided Reconfigurable Fixture Design. In: *Proceedings of the CIRP 2nd International Conference on Reconfigurable Manufacturing*, Ann Arbor, 2003.

ROSS 2004

Ross, P.: Effiziente Strukturen mit Hilfe des Knorr-Bremse Produktionssystem (KPS). In: 18. Deutscher Montagekongress. *Fundamentale Kostensenkung – auch in der Montage*, München. Landsberg: moderne industrie 2004.

RUDORFER & WEBER 2000

Rudorfer, W.; Weber, V.: Supply Chain Management in elektronischen Marktplätzen. In: Reinhart, G. (Hrsg.): E-Business in der Produktion, Garching. München: Utz 2000, S.1-20. (*iwb Seminarberichte* 55)

SCHENK ET AL. 2001

Schenk, M.; Seelmann-Eggebert, R.; Piller, F.: Mass Production to Mass Customization. In: Kundenindividuelle Massenproduktion. Magdeburg, IFF (2001).

SCHLIFFENBACHER ET AL. 1999

Schliffenbacher, K.; Rudorfer, W.; Reinhart, G.: Configuration of virtual value chains. In: Mertins, K. u. a. (Hrsg.): Global Production Management. Boston: Kluwer Academic Publishers 1999, S. 399-407.

SCHLOTT 2002

Schlott, S.: Im Fiesta auf der Überholspur. Automobil-Produktion (2002) 5, S. 20-26.

SCHMELZER & BUTTERMILCH 1988

Schmelzer, H. J.; Buttermilch, K.-H.: Reduzierung der Entwicklungszeiten in der Produktentwicklung als ganzheitliches Problem. In: Brockhoff, K.; Picot, A.; Urban, C. (Hrsg.): Zeitmanagement in Forschung und Entwicklung. zbf Sonderheft (1988) 23, S. 43-73. (Zitiert aus: Lindemann, U.; Reichwald, R.: Integriertes Änderungsmanagement. Berlin: Springer, 1998)

SCHRAFT & SCHÄFER 2003

Schraft, R. D.; Schäfer, T.: Inkrementelles Biegeumformen von Blech mit Industrierobotern. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 6, S. 489-493.

SCHRÖER & MÜLLER-ROGAI 2002

Schröer, K.; Müller-Rogait, J.: Objektorientierte Fertigungstechnik, differenzierte Automatisierung und virtuelle Fabrik. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002) 4, S. 187-194.

SCHUH ET AL. 2003 A

Schuh, G.; Bergholz, M.; Liestmann, V.; Merchiers, A.; Sander, B.; Spille, J.: Modulare Dienstleistungen als Beitrag zur Flexibilisierung global verteilter Produktion. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 98 (2003) 5, S. 210-213.

SCHUH ET AL. 2004 A

Schuh, G.; Harre, J.; Gottschalk, S.; Kampker, A.: Design for Changeability (DFC) – Das richtige Maß an Wandlungsfähigkeit finden. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 100-106.

SCHUH ET AL. 2004 B

Schuh, G.; Merchiers, A.; Kampker, A.: Geschäftskonzepte für global verteilte Produktion. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 3, S. 52-57.

SCHUH ET AL. 1998

Schuh, G.; Millarg, K.; Göransson, A.: Virtuelle Fabrik – Neue Marktchancen durch dynamische Netzwerke. München: Hanser 1998.

SCHUH ET AL. 2003 C

Schuh, G.; Röpke, M.; Tücks, G.; Knappenberger, U.: Integration der Variantenplanung in den Entwicklungsprozess. VDI-Z 145 (2003) 4, S. 68-70.

SCHUH ET AL. 2002

Schuh, G.; Riedel, H.; Abels, I.; Desoi, J.: Serienanlauf in branchenübergreifenden Netzwerken. wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 11/12, S. 656-661.

SCHUH ET AL. 2003 B

Schuh, G.; Van Brussel, H.; Boër, C.; Valckenaers, P.; Sacco, M.; Bergholz, M.; Harre, J.: A Model-Based Approach to Design Modular Plant Architectures. In: Weber, C.; Bley, H.; Hirt, G. (Hrsg.): Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken. Saarbrücken 2003, S. 369-373.

SHIPLETT 2003

Shiplett, R.: In: Jellyfish statt Fischgräten. Automobil-Produktion (2003) 4. S. 72-73.

SIEGERT ET AL. 2000

Siegert, K.; Aust, M.; Lösch, B.: Hydroblechumformung. wt Werkstattstechnik online 90 (2000) 10, S. 399-403.

SOSSNA & WAGNER 2001

Sossna, F.; Wagner, W.: Automatische Grobsimulation zur Auslegung der Rohbau-Fertigung im Automobilbau. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug, Garching. München: Utz 2001, S.2/1-2/16. (*iwv* Seminarberichte 56)

SPATH ET AL. 2001

Spath, D.; Baumeister, M.; Dill, C.: Ist Flexibilität genug? Zum Management von Turbulenzen sind neue Fähigkeiten gefragt. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 96 (2001) 5, S. 235-241.

SPATH ET AL. 2002 A

Spath, D.; Baumeister, M.; Rasch, D.: Wandlungsfähigkeit und Planung von Fabriken. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002) 1-2, S. 28-32.

SPATH ET AL. 2002 B

Spath, D.; Lotter, B.; Baumeister, M.: Verrichtungsweise Montage komplexer Produkte in hybriden Montagesystemen. wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 9, S. 411-414.

VDI RICHTLINIE 2221 1993

VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI Verlag 1993.

VOLKSWAGEN 2004

Volkswagen: Treffpunkt Zukunft.
<<http://www.volkswagen.de/messen/rueck3.htm>> (Stand 08/04)

WACHS 2004

Wachs, O.-F.: Zu Erfolg, Problemen und Zukunft der Autostadt. AutoBild (2004) 23, S. 44.

WAGNER ET AL. 2003

Wagner, W.; Siemon, J.; Bohrer, R.: Digital Manufacturing in der Automobilentwicklung. VDI-Z 145 (2003) 5, S. 70-72.

WARNECKE 1993

Warnecke, H.-J.: Revolution der Unternehmenskultur – Das fraktale Unternehmen. Berlin: Springer 1993.

WARNECKE ET AL. 1978

Warnecke, H.-J.; Bullinger, H.-J.; Hichert, R.: Kostenrechnung für Ingenieure. München: Hanser 1978.

WARNECKE ET AL. 1996

Warnecke, H.-J.; Bullinger, H.-J.; Hichert, R.; Voegelé, A.: Kostenrechnung für Ingenieure. München: Hanser 1996.

WEBER 2004

Weber, V.: Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken. München: Utz 2004. (*iwb* Forschungsberichte 183). (Zugl.: Diss. TU München 2004)

WESTKÄMPER 1999

Westkämper, E.: Die Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. wt Werkstattstechnik 89 (1999) 4, S. 131-140.

WESTKÄMPER 2000

Westkämper, E.: Kontinuierliche und partizipative Fabrikplanung. wt Werkstattstechnik online 90 (2000) 3, S. 92-95.

WESTKÄMPER 2003

Westkämper, E.: Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für variantenreiche Serienproduktion. In: Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer 2003, S. 111-122.

WESTKÄMPER ET AL. 2003 A

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

WESTKÄMPER ET AL. 2001

Westkämper, E.; Bischoff, J; von Briel, R.; Dürr, M.: Fabrikdigitalisierung. wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 6, S. 304-307.

WESTKÄMPER ET AL. 2003 B

Westkämper, E.; Schraft, R. D.; Schaaf, W. Schäfer, T.: Roboshaping – Flexible inkrementelle Blechumformung mit Industrierobotern. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 1/2, S. 7-11.

WESTKÄMPER & VON BRIEL 2001

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

WESTKÄMPER ET AL. 2000

Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P.; Tilebein, M.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. wt Werkstattstechnik online 90 (2000) 1/2, S. 22-26.

WIENDAHL 2002 A

Wiendahl, H.-P.: Auf dem Weg zur „Digitalen Fabrik“. wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 4, S. 121.

WIENDAHL 2002 B

Wiendahl, H.-P.: Wandlungsfähigkeit. wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 4, S. 122-127.

WIENDAHL & HERNÁNDEZ 2002

Wiendahl, H.-P.; Hernández, R.: Fabrikplanung im Blickpunkt. wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 4, S. 133-138.

WIENDAHL ET AL. 2005

Wiendahl, H.-P.; Nofen, D.; Klußmann, J. H.; Breitenbach, F.: Planung modularer Fabriken – Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. München: Hanser 2005.

WILDEMANN 1988

Wildemann, H.: Die modulare Fabrik – Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung. 2. Aufl. München: gfmt 1988.

WILDEMANN 1998

Wildemann, H.: Die modulare Fabrik – Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung. 5. Aufl. München: TCW 1998.

WIRTH ET AL. 2001

Wirth, S.; Gäse, T.; Günther, U.: Partizipative simulationsgestützte Layoutplanung. *wt Werkstattstechnik online* 91 (2001) 6, S. 328-332.

WIRTH ET AL. 2003

Wirth, S. Erfurth, R. Olschewski, T.: M.: Mobilitätsstufenabhängige Fabrikplattformen. *wt Werkstattstechnik online* 93 (2003) 4, S. 287-294.

WÖHLKE & SCHILLER 2003

Wöhlke, G.; Schiller, E.: Digital Planning Validation in Automotive Industry. In: Zülch, G.; Stowasser, S.; Jagdev, H. S. (Hrsg.): *Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on Human Aspects in Production Management. Volume 1, Karlsruhe. Aachen: Shaker 2003, S. 120-128.*

ZÄH & MÜLLER 2004

Zäh, M. F.; Müller, S.: Referenzmodelle für die Virtuelle Produktion. *Industrie Management* 20 (2004) 1, S. 52-55

ZÄH ET AL. 2002

Zäh, M. F.; Reinhart, G.; Patron, C.; Meier, P.: Augmented und Virtual Reality in der manuellen Montage. In: *Tagungsband um 1. Paderborner Workshop Augmented Reality und Virtual Reality in der Produktentstehung, Paderborn 2002.*

ZÄH ET AL. 2003 A

Zäh, M. F.; Rudolf, H.; Wagner, W.: Minifabriken für die marktnahe Produktion individualisierter Produkte. In: Müller, E. (Hrsg): *Vernetzt planen und produzieren VPP 2003, Chemnitz. Chemnitz: TU Verlag 2003, S. 175-179.*

ZÄH & RUDOLF 2003

Zäh, M. F.; Rudolf, H.: Computer Aided Process Planning as an Enabler for Mass Customization: State of the Art and Future Areas for Research. In: Reichwald, R.; Piller, F.; Tseng, M. (Hrsg.): Proceedings of the MCPC 03: 2nd Interdisciplinary World Congress on Mass Customization and Personalization, München. München: 2003.

ZÄH & ULRICH 2003

Zäh, M. F.; Ulrich, C.: Laser am Haken – die Mobilisierung von Prozessen. Schweißen und Schneiden 55 (2003) 3, S. 146-147.

ZÄH ET AL. 2003 B

Zäh, M. F.; Ulrich, C.; Wagner, W.; Wilke, M.: Reaktionsszenario Minifabrik. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 9, S. 646-650.

ZÄH & WAGNER 2002 A

Zäh, M. F.; Wagner, W.: Die Fabrik der Zukunft ist wandlungsfähig. In: Zäh, M.; Reinhart, G. (Hrsg.): Fabrikplanung 2002: Visionen – Umsetzung – Werkzeuge, Garching. München: Utz 2002, S. 1/1-1/17. (*iwb* Seminarberichte 63)

ZÄH & WAGNER 2002 B

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

ZÄH & WAGNER 2003 A

Zäh, M. F.; Wagner, W.: Factory Planning Modules for Knowledge Sharing Between Different Locations. In: Zülch, G.; Stowasser, S.; Jagdev, H. S. (Hrsg.): Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on Human Aspects in Production Management. Volume 2, Karlsruhe. Aachen: Shaker 2003, S. 145-151.

ZÄH & WAGNER 2003 B

Zäh, M. F.; Wagner, W.: Planning Minifactory Structures for the Close-to-Market Manufacture of Individualized Products. In: Reichwald, R.; Piller, F.; Tseng, M. (Hrsg.): Proceedings of the MCPC 03: 2nd Interdisciplinary World Congress on Mass Customization and Personalization, München. München: 2003.

ZÄH ET AL. 2004

Zäh, M. F.; Werner, J.; Angerer, T.: Effizienzsteigerung durch die mechatronische Montage. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 9, S. 384-388.

ZOHM & BERGHOLZ 2002

Zohm, F.; Bergholz, M.: Aus Baukastenmodulen entsteht die flexible Fabrik. Industrieanzeiger (2002) AWK 2002, S. 17.

ZUBER ET AL. 2000

Zuber, E.; Kress, M.; Wagner, W.: Virtuelle Produktion – Partner der digitalen Produktentwicklung. In: Produkte entwickeln im realen Umfeld – Was bringen neue Werkzeuge wie 3D-CAD/CAM, EDM/PDM und Virtualisierung?, München. Düsseldorf: VDI Verlag 2000, S. 249-266. (VDI-Berichte 1569)



11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einflüsse auf produzierende Unternehmen.....	1
Abbildung 2: Zunehmende Produktdiversifikation (BMW Group in [WAGNER ET AL. 2003]).....	3
Abbildung 3: Innovationsgeschwindigkeit	9
Abbildung 4: Mass Customization – Konzeptionen [PILLER 2003].....	16
Abbildung 5: Produktdiversifikation – vom Kundenwunsch bis zur Variante des Produkts.....	18
Abbildung 6: Produktindividualisierung – vom Kundenwunsch bis zur individuellen Ausprägung des Produkts.....	19
Abbildung 7: Polaritätsprofil von Industriebetrieben und Handwerksbetrieben (nach [HEINEN 1991]).....	21
Abbildung 8: Qualitativer Vergleich der Wertschöpfungsmodelle in Bezug auf wesentliche Kostenarten [REICHWALD & IHL 2004].....	27
Abbildung 9: Merkmale der Realisierung von kundenindividuellen technischen Produkten auf der Basis von Serienprodukten.....	31
Abbildung 10: Ansätze zum Senken von Werkzeugkosten bei kleinen Losgrößen	37
Abbildung 11: Eigenschaften von industriellen Verfahren hinsichtlich der Produktindividualisierung am Beispiel des Umformens	40
Abbildung 12: Zusammenhang zwischen auftragsspezifischem Vorbereitungsaufwand und optimaler Losgröße (nach [PILLER 2003]).....	42
Abbildung 13: Gewinnschwellendiagramm (nach [WARNECKE ET AL. 1978; WARNECKE ET AL. 1996]).....	44
Abbildung 14: Erfahrungskurve im linear geteilten Koordinatensystem	48
Abbildung 15: Erfahrungskurve in doppelt logarithmischer Darstellung.....	49
Abbildung 16: Effizienz neuer Technologien in Abhängigkeit von deren Beherrschung [PANSKUS 1988]	52

Abbildung 17: Prinzip der Fertigungssegmentierung [WILDEMANN 1988].....	58
Abbildung 18: Unterschied zwischen Segmentierung und Fraktalen [WARNECKE 1993]	59
Abbildung 19: Entkoppeltes, modulares Design für Fabrikstrukturen [EVERSHEIM & NEUHAUSEN 2001]	68
Abbildung 20: Fabrikmodul am Beispiel des Projekts „WdmF“ [NOFEN ET AL. 2003 B].....	69
Abbildung 21: Phasen der Fabrikplanung [KETTNER ET AL. 1984]	73
Abbildung 22: Aufbau und Weitergabe von Wissen zwischen Projektphasen (nach [KARLSSON & DE VIN 2002])	73
Abbildung 23: Positionierung des „Manufacturing Process Management“ (MPM) [LINNEN 2002]	76
Abbildung 24: Schwerpunkte aktueller Ansätze zur Produktionsstrukturierung	81
Abbildung 25: Abgrenzung von bestehenden Ansätzen und Handlungsbedarf für die vorliegende Arbeit	86
Abbildung 26: Struktur der Arbeit und Vorgehensweise	94
Abbildung 27: Komplementäre und konkurrierende Ziele bei der marktnahen Produktion individualisierter Produkte	96
Abbildung 28: Positionierung des Wertschöpfungsmodells der marktnahen Produktion individualisierter Produkte	97
Abbildung 29: Klassifizierung von Produktkomponenten zur Abgrenzung der Produktdiversifikation von der Produktindividualisierung	102
Abbildung 30: Ableitung der Struktur von Fabrikmodulen zur Fertigung individueller Produktkomponenten in marktnahen Produktionsstätten.....	106
Abbildung 31: Produktionsstrukturierung nach dem Prinzip konfigurierter Bausteine	108
Abbildung 32: Verkettete Arbeitsschritte bei konventionellen Verfahren am Beispiel des Tiefziehens	109

Abbildung 33: Beispielhafte Darstellung von auftragsneutralen Einspannungs-, Handhabungs- und Transportvorrichtungen (nach [KRESS 2000]).....	114
Abbildung 34: Inhaltliche Integration verschiedener Disziplinen bei der Planung von Fabriken und Produktionsprozessen	117
Abbildung 35: Hierarchische Strukturierung von Produktionsressourcen	119
Abbildung 36: Übergreifende Harmonisierung von Strukturen unterschiedlicher Disziplinen bei der Planung von Fabriken und Produktionsprozessen.....	122
Abbildung 37: Medien für eine interaktive Planung.....	125
Abbildung 38: Adaption des Problemlösungszyklus der Produktentwicklung .	129
Abbildung 39: Standortübergreifende Nutzung von Erfahrungseffekten.....	130
Abbildung 40: Stufen beim Vergleich der beiden Wertschöpfungsmodelle	135
Abbildung 41: Modularisierung zur Verkürzung der Durchlaufzeit von Produkten (nach [SCHENK ET AL. 2001]) und Analogie in der Fabrikplanung	144
Abbildung 42: Spätere Variantendifferenzierung bei heutigen im Vergleich zu früheren Produktionsprozessen [ZUBER ET AL. 2000]	154
Abbildung 43: Einordnung der Arbeit	157



iwb Forschungsberichte Band 1–121

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

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

- 1 *Streifinger, E.*
Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*
Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*
Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*
Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*
Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*
Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, J.*
Schneiderodierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*
Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*
Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*
Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*
Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*
Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Grohe, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*
Klipsmontage mit Industrierobotern
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*
Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Sauerer, Ch.*
Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*
Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*
Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*
Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *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 Einschränkungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*
Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*
3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8
- 36 *Naber, H.*
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*
Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*
Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*
Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-5520-0
- 44 *Petry, M.*
Systematik zur Entwicklung eines modularen 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.*
Prozeßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schräfer, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*
Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glaas, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helm, H.J.*
Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*
Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bomm, H.*
Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*
Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*
Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*
**Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von
Zubringeinrichtungen**
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*
**Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer
Zellenrechnersoftware**
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56889-5
- 62 *Stetter, R.*
**Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur
Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes**
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dindorfer, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
**Simulation des Schwingungsverhaltens spanender
Werkzeugmaschinen**
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
**Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-
Layoutoptimierung**
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummelsteiner, G.*
**3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur
Planung manueller Montagesysteme**
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*
**Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen
Automatisierung von Produktionssystemen**
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
**Simulationsgestützte CAD/ICAM-Kopplung für die 3D-
Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik**
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*
**Automatische Inbetriebnahme
geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler**
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
**Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von
Produktionssystemen**
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*
**Rechnergestütztes Projektinformations- und
Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld**
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
**Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur
Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge**
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*
**Verfahren zur simulationsgestützten
Produktionsregelung in der Einzel- und
Kleinserienproduktion**
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*
**Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer
flexiblen Fertigung**
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Rath, P.*
**Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in
der Arbeitsvorbereitung**
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*
**Strömungstechnische Optimierung von
Produktionssystemen durch Simulation**
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zäh, M. F.*
Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanzer, N.*
**Technologisches Prozeßmodell für die
Kugelschleifbearbeitung**
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanov, P.*
**Konstruktionsbegleitende Kalkulation von
Werkzeugmaschinen**
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*
**Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen
Fertigungszellen**
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*
**Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der
Hartbearbeitung**
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
**Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in
flexiblen Produktionszellen**
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
**Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung
und logistisches Störungsmanagement**
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*
**Systematische Planung anwendungsspezifischer
Materialflußsteuerungen**
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rockland, M.*
**Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in
Montageanlagen**
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Limmer, St.*
Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*
**Integrierte Planung von Informationssystemen für
rechnergestützte Produktionssysteme**
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deuschle, U.*
**Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in
mittelständischen Unternehmen**
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*
Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*
Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte
 1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*
Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen
 1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*
Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren
 1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*
Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
 1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*
Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen
 1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*
Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme
 1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*
Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung
 1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*
Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie
 1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*
Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
 1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*
Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten
 1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
 1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Köhler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten
 1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung
 1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
 1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*
Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
 1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*
Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen
 1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Kräner, U.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung
 1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
 1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
 1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozeß mit Produktmodellen
 1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
 1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz
 1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
 1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindermeier, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
 1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, J.*
Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
 1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfaden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
 1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
 1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen
 1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Pfob, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
 1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgelieferte Planung von Laseranlagen
 1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Seminarberichte iwB

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

Seminarberichte iwB sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, utz@utzverlag.com

- 1 **Innovative Montagesysteme · Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell · Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen · Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation · Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser · von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten · ISBN 3-931327-76-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement · der Weg ist das Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen · Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5
- 10 **3D-Simulation · Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation · Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe · Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market · Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis · Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet · Chancen für produzierende Unternehmen**
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik · mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen · Plug & Play · Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping · Rapid Tooling · Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion · Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik · Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme · Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping · Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling · Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen · Abschlusssseminar**
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) · Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD · Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion · Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation · Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung · Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit · Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping · Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling · Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie · Flexibel und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit · ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage · Handhaben und Positionieren von Mikroteilen**
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken · Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion · Ablaufsimulation**
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1
- 47 **Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation**
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8

- 49 **Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung**
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
- 50 **Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion**
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 **Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle**
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien**
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 **Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung**
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 54 **Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation**
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 55 **e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele**
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
- 56 **Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug**
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
- 57 **Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen**
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien**
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 **Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik**
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 **Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln**
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 62 **Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien**
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 **Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge**
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 **Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial**
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 **Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen**
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 **Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder**
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 **Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder**
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 **Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik**
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 **Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**
134 Seiten · ISBN 3-89675-069-0
- 70 **Mechatronik · Strukturodynamik von Werkzeugmaschinen**
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 **Klebtechnik · Zerörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten**
ISBN 3-89675-071-2 · vergriffen
- 72 **Fabrikplanung 2004 · Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen**
ISBN 3-89675-072-0 · vergriffen
- 73 **Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen**
179 Seiten · ISBN 3-89675-073-9
- 74 **Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik**
133 Seiten · ISBN 3-89675-074-7
- 75 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 76 **Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapselfür aseptischen Ampulle**
95 Seiten · ISBN 3-89675-076-3
- 77 **ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen**
153 Seiten · ISBN 3-89675-077-7
- 78 **Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen**
155 Seiten · ISBN 3-89675-078-X
- 79 **Produktionsmanagement**
267 Seiten · ISBN 3-89675-079-8
- 80 **Rapid Manufacturing · Fertigungsverfahren für alle Ansprüche**
154 Seiten · ISBN 3-89675-080-1

Forschungsberichte iwb

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

Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, utz@utzverlag.de

- 122 Schneider, Burghard
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd
Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößmer, 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 Hohn, 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 Fahrer
Ganzeitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner
Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte
Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger
Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob
Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer
System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel
Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross
Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun
Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen
Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer
Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen
Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton
Ein Beitrag zur Entwicklung telepräseneter Montagesysteme
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser
Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breitinge
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

