

Harald Rottbauer

*Modulares Planungswerkzeug
zum Produktionsmanagement
in der Elektronikproduktion*

Harald Rottbauer

*Modulares Planungswerkzeug
zum Produktionsmanagement
in der Elektronikproduktion*

Herausgegeben von

Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,

Lehrstuhl für

Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

FAPS



Meisenbach Verlag Bamberg

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung: 3. Juli 2000
Tag der Promotion: 4. Oktober 2000
Dekan: Prof. Dr.-Ing. H. Meerkamm
Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
Prof. Dr.-Ing. habil. W. Sauer

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Rottbauer, Harald:

Modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement
in der Elektronikproduktion / Harald Rottbauer : Hrsg. von Klaus Feldmann.
- Bamberg : Meisenbach, 2001
(Fertigungstechnik - Erlangen ; 104)
Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 2000
ISBN 3-87525-139-3 ISSN 1431-6226

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks
und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus,
vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein
anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichts-
gestaltung - mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich
genannten Sonderfälle -, reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder
verbreitet werden.

© Meisenbach Verlag Bamberg 2001
Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf
Printed in Germany

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann, dem Leiter dieses Lehrstuhls am Institut für Fertigungstechnik, danke ich für die großzügige Förderung bei der Durchführung meiner Arbeit, die wertvollen Anregungen und den Freiraum, den er mir bei der Bearbeitung praxisorientierter und industrienaher Projekte gewährte.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Wilfried Sauer, dem Leiter des Instituts für Elektronik-Technologie der TU Dresden, danke ich für die Übernahme des Korreferates und die fachlichen Anregungen.

Die Arbeit beruht auf einer Vielzahl von Kooperationsprojekten im Umfeld der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau. Mein Dank gilt insbesondere Herrn Hilbig von Heidelberger Druckmaschinen, Frau Bruns von Miele und Herrn Tillmann von Schlafhorst Electronics, die durch fachliche Diskussionen dazu beigetragen haben, die Praxisrelevanz dieser Arbeit sicherzustellen.

Weiterhin danke ich allen FAPS-Kollegen für die fachlichen Diskussionen, insbesondere Herrn Dr.-Ing. Knuth Götz, Herrn Dr.-Ing. Gunther Beifinger sowie Herrn Dipl.-Ing. Frank Pitter. Weiterer Dank gebührt den Studenten und wissenschaftlichen Hilfskräften, die durch ihr Engagement und ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Hier sind insbesondere Herr Dipl.-Ing. Gerald Kolbeck, Herr Dipl.-Ing. Andre Kramer, Frau Dipl.-Ing. Eva Schaefer, Herr Dipl.-Ing. Matthias Bickert, Herr Dipl.-Ing. Sebastian Schmitt sowie Herr cand.-Ing. Kenan Halilovic zu erwähnen.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meinen Eltern, die mir meine umfassende Ausbildung ermöglicht und durch ihren Rückhalt erheblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein herzlichster Dank gilt schließlich meiner Freundin Lucia, die vor allem in den letzten Monaten dieser Arbeit viele Wochenenden ohne mich verbringen musste.

München, im Oktober 2000

Harald Rottbauer

Modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Situationsanalyse der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau	5
2.1	Systemgeschäft als Perspektive für den Maschinen- und Gerätebau	5
2.2	Organisatorische und technologische Trends im Umfeld der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau	9
2.2.1	Analyse der aktuellen Wettbewerbsbedingungen in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau	9
2.2.2	Veränderung der Wertschöpfungsstrukturen in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau	13
2.3	Analyse der Auswirkungen auf die Produktion elektronischer Baugruppen	18
2.3.1	Analyse der Auswirkungen neuer Bauelementeformen und Substratmaterialien in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau	18
2.3.2	Wirtschaftliche Produktion elektronischer Baugruppen im Spannungsfeld von high-tech und low-volume	23
2.4	Modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion	27
2.4.1	Defizite bisheriger Ansätze und Verfahren zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion.....	28
2.4.2	Anforderungen an ein modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion.....	29
3	Entwicklung eines Moduls zum Make-or-Buy Management in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau	32
3.1	Strategien zur Neuausrichtung der Kernkompetenzen	33
3.1.1	Begriffsdefinitionen	33
3.1.2	Aufgaben und Instrumente des bisherigen Make-or-Buy Managements	35

3.1.3	Defizite in der bisherigen Vorgehensweise im Rahmen des Make-or-Buy Managements.....	41
3.2	Entwurf einer Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau.....	43
3.2.1	Ermittlung der Anforderungen an die Bewertungssystematik	43
3.2.2	Definition von Make-or-Buy Objekten	45
3.2.3	Struktur der Bewertungssystematik Make-or-Buy.....	47
3.3	Aufstellen von Kriterienkatalogen zur Beurteilung der Eigenentwicklungs- und Eigenfertigungsfähigkeit	49
3.3.1	Kriterienkataloge zur Beurteilung der Eigenentwicklungsfähigkeit.....	51
3.3.2	Kriterienkataloge zur Beurteilung der Eigenfertigungsfähigkeit .	51
3.4	Entwicklung von Ansätzen zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau....	52
3.4.1	Marktorientierte Ansätze	53
3.4.2	Produktorientierte Ansätze.....	54
3.4.3	Prozessorientierte Ansätze	55
3.5	Modul zum Make-or-Buy Management in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau	57
3.5.1	Vorgehensweise im Rahmen des Make-or-Buy Managements	57
3.5.2	Unterlagen und Formulare zur Unterstützung des Make-or-Buy Managements	59
4	Entwicklung eines Moduls zum Prozess-Engineering in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau	65
4.1	Ziele und Vorgehensweise im Rahmen des Prozess-Engineerings	65
4.1.1	Begriffsdefinitionen	65
4.1.2	Aufstellen eines Branchenprozessmodells als Grundlage für das Prozess-Engineering.....	67
4.1.3	Simulationsgestütztes Prozess-Engineering.....	70
4.2	Aufstellen eines Katalogs von Maßnahmen zum Kapazitätsabgleich im Kontext Make-or-Buy	74
4.2.1	Maßnahmen im Rahmen der Planung von Produktionsstrukturen	75

4.2.2	Maßnahmen im Rahmen der Planung von Produktionsabläufen	76
4.3	Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Geschäftsprozesse	78
4.3.1	Modellierungsmethoden zur Planung von Geschäftsprozessen	79
4.3.2	Anforderungen an das Simulationsmodell zur Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Geschäftsprozesse	81
4.3.3	Baustein zum Ableiten von Ansatzpunkten für die Ressourcenplanung auf Geschäftsprozessebene	83
4.4	Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse	84
4.4.1	Ansätze zur Strukturierung von Produktionsprozessen in der Elektronikproduktion	86
4.4.2	Anforderungen an das Simulationsmodell zur Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse	87
4.4.3	Entwicklung eines analytischen Berechnungsverfahrens zur Ermittlung der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse	88
4.4.4	Baustein zum Ableiten von Ansatzpunkten für die Ressourcenplanung auf Produktionsprozessebene	98
4.5	Modul zum Prozess-Engineering in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau	99
4.5.1	Vorgehensweise im Rahmen des Prozess-Engineerings	100
4.5.2	Auswertungen und Ergebnisdarstellungen	101
5	Modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion	104
5.1	Integration von Make-or-Buy Management und Prozess-Engineering zu einem modularen Planungswerkzeug	105
5.2	Entwicklung eines Zielsystems für das Produktionsmanagement	107
5.2.1	Vorgehensweise Benchmarking	107
5.2.2	Bausteine des Zielsystems für das Produktionsmanagement ..	108

5.3	Entwicklung eines Kostenmodells zur Bewertung der Auswirkungen von Make-or-Buy Strategien auf die Prozessebene.....	110
5.3.1	Aufstellen eines Kostenmodells für die fertigungsunterstützenden Prozesse und die Fertigungsprozesse	111
5.3.2	Ermittlung und Verrechnung von Kosten in der Simulation.....	113
5.4	Erweiterung des modularen Planungswerkzeuges auf Produktionsnetze.....	115
5.4.1	Netzwerktypen in der Elektronikproduktion	116
5.4.2	Ansätze zur kooperativen Planung von verteilten Fertigungsstandorten.....	117
6	Implementierung des PC-gestützten Planungswerkzeuges ProEPM	122
6.1	Aufbau und Inhalte des Datenmodells	122
6.2	Formulare	124
6.3	Prototypische Realisierung der Schnittstelle zur Simulation	133
7	Erfahrungen aus dem Einsatz des PC-gestützten Planungswerkzeuges ProEPM.....	139
7.1	Anwendung des Moduls zum Make-or-Buy Management	139
7.2	Anwendung des Moduls zum Prozess-Engineering.....	141
7.2.1	Analyse der Auswirkungen auf die fertigungsunterstützenden Prozesse	142
7.2.2	Analyse der Auswirkungen auf die Fertigungsprozesse	145
8	Zusammenfassung	151
	Literatur.....	154

1 Einleitung

Die Produktion elektronischer Baugruppen und Geräte hat sich zu einer Schlüsseltechnologie mit Ausstrahlung auf nahezu alle Produktbereiche entwickelt [32]. Diese immense Bedeutung ist darauf zurückzuführen, dass die Elektronikproduktion in der technologischen Kette eine Schlüsselstellung innehat (Bild 1). Nahezu alle Geräte, Maschinen und Anlagen in der für Deutschland so wichtigen Industriebranchen Maschinenbau, Elektrotechnik, Straßenfahrzeugbau und der chemischen Industrie werden in ihrer Funktionsweise und ihrem Markterfolg immer stärker durch ihre elektronische Ausstattung geprägt [37]. Als weiteren Beleg für die zunehmende Bedeutung der Elektronikproduktion können die volkswirtschaftlichen Kennzahlen herangezogen werden. Während das reale Wachstum der gesamtwirtschaftlichen Produktion im Jahr 1998 lediglich 2,5% betrug, entwickelte sich der Bereich Elektronikproduktion mit einem Wachstum von ca. 5% überproportional. Dies resultierte insbesondere aus der rasanten Entwicklung im Bereich Daten- und Kommunikationstechnik, wo bei einem Umsatzvolumen von 72,1 Mrd. DM im Jahr 1998 bis zum Jahr 2003 ein jährliches Wachstum von über 8% prognostiziert wird [133].

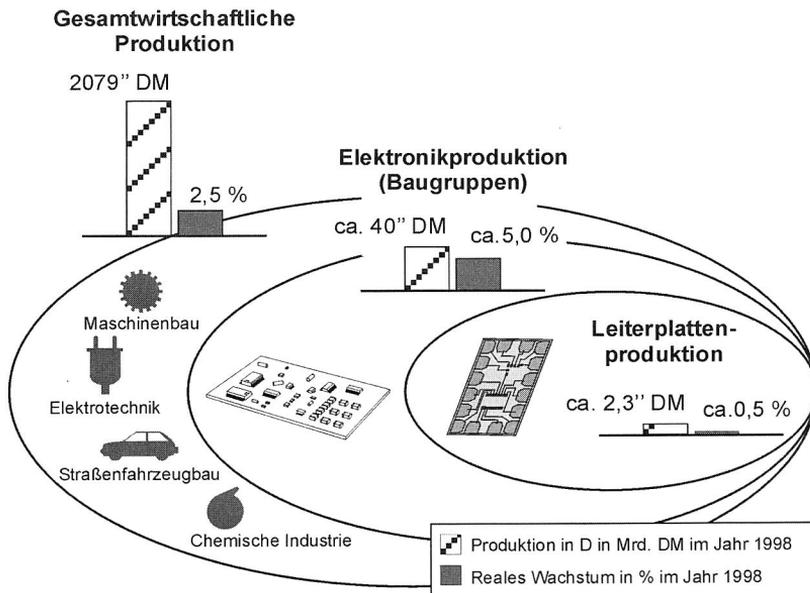


Bild 1: Elektronikproduktion in Deutschland – ein Geschäftsfeld mit überdurchschnittlichen Wachstumserwartungen (Quelle Zahlenmaterial: ZVEI)

Derzeit sind im Umfeld der Produktion elektronischer Baugruppen vielfältige organisatorische Veränderungen im Gange [108]. Einerseits hat sich in den letzten Jahren eine äußerst selbstbewusste Branche an Bestückungsdienstleistern entwickelt. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass sich viele Unternehmen, die traditionell über eigenständige Elektronikbereiche verfügten, im Zuge der Konzentration auf die Kernkompetenzen aus der Baugruppenproduktion zurückgezogen haben. Andererseits versuchen derzeit zahlreiche Unternehmen aus den verschiedensten Industriebranchen, durch den Aufbau von Kompetenzen in den Bereichen Elektronik und Software ihr angestammtes Produktprogramm zu erweitern und über den Einstieg in das Systemgeschäft ganz neue Marktsegmente für sich zu erschließen.

Bei der Beobachtung dieser Entwicklungen lassen sich durchaus Parallelen zu der Situation in der Leiterplattenindustrie herstellen. Wurde die technische Entwicklung der Leiterplatten bis zu Beginn der 90er Jahre von den großen Endgeräteherstellern vorangetrieben, ruht das Leiterplatten-Know-how heute fast ausschließlich auf den Schultern der reinen Leiterplattenhersteller. Bei der Leiterplattenproduktion fiel in Deutschland der Inhouse-Produktionsanteil von 43 Prozent im Jahr 1994 auf nur noch 17 Prozent im Jahr 1996 zurück. Große Inhouse-Fertigungen wurden geschlossen oder ins Ausland verlagert. Von dieser Entwicklung profitierten zweifellos die reinen Leiterplattenhersteller in besonderem Maße. Besonders auffällig ist jedoch auch hier die stete Abnahme der Zahl an Leiterplattenbetrieben. Produzierten im Jahr 1990 noch 400 Leiterplattenbetriebe in Deutschland, ist die Zahl im Jahr 1996 auf 165 Betriebe zurückgegangen [133]. Auch europaweit hat eine massive Konzentrationsbewegung stattgefunden, die noch immer nicht beendet zu sein scheint. Diese Entwicklung hat mehrere Ursachen. Obwohl die Menge - sprich die produzierte Fläche - überdurchschnittlich gewachsen ist, unterliegen die Leiterplattenhersteller einem steigenden Kostendruck bei einem gleichzeitigen Verfall von Preisen. So ist auch das äußerst geringe reale Wachstum der Leiterplattenindustrie von ca. 0,5% im Jahr 1998 zu erklären. Zusätzlich verfügen die Leiterplattenhersteller aufgrund der dünnen Kapitaldecke über einen geringen Spielraum für Investitionen in die F&E, die Rationalisierung der Produktion und die Internationalisierung. Deshalb wird sich die Marktberreinigung in der Leiterplattenindustrie weiter fortsetzen, nationale und internationale Zusammenschlüsse von Leiterplattenherstellern sind eine weitere Folge [99].

In der Elektronikproduktion ist die Einschätzbarkeit der Marktsituation aufgrund der raschen technologischen Veränderungen dramatisch zurückgegangen [34]. Vor dem Hintergrund der Forderung nach einer zunehmenden Wandlungsfähigkeit der Unternehmen rücken „flankierend zum Löttropfen“ Fragestellungen des Produktionsmanagements stärker in den Mittelpunkt der Betrachtung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Elektronikfertiger über die Beherrschung der neuesten Aufbau- und Verbin-

dungstechniken hinaus zusätzliche Engineering-Kompetenzen entlang des gesamten Workflows aufbauen müssen, um weiterhin wettbewerbsfähig zu sein. Dies betrifft die Kompetenzfelder Entwicklung, Einkauf, Logistik, Fertigungsplanung und –steuerung sowie Management (Bild 2).

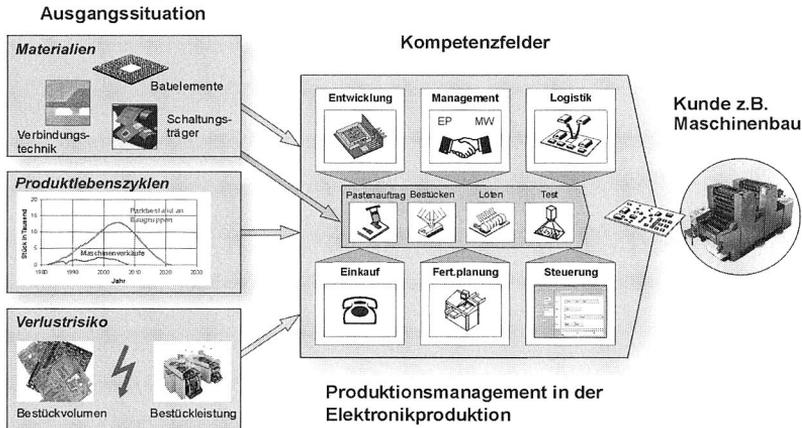


Bild 2: Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion

Zentrale Voraussetzung, um die Reaktionsfähigkeit im Rahmen des Produktionsmanagements in der Elektronikproduktion auf technologische und kapazitive Veränderungen zu erhöhen, ist eine Durchgängigkeit der Daten, ein frühzeitiges Optimieren sowohl der Fertigungsprozesse als auch der fertigungsunterstützenden Prozesse sowie eine unternehmensweite Informationsverarbeitung. Zur Erreichung dieser Ziele wird heute verstärkt der Ansatz der digitalen Fabrik favorisiert. Grundlage dieses Ansatzes ist der Aufbau einer virtuellen Produktionsumgebung durch die vollständige Modellierung und Simulation kompletter Produktionssysteme [51]. Der Ansatz der digitalen Fabrik stellt aktuelle Informationen aus der Prozessebene bereit, wodurch sich die Reaktionsfähigkeit erhöhen und die Planungssicherheit verbessern lassen. Gleichzeitig können die Auswirkungen von Entscheidungen im Voraus sichtbar gemacht und so beispielsweise das Risiko von Know-how Verlusten im Fall Make-or-Buy oder das Investitionsrisiko im Fall von geplanten Produktions- und Logistiksystemen reduziert werden.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, ein modulares Planungswerkzeug zur Unterstützung des Produktionsmanagements in der Elektronikproduktion zu entwickeln. Um die Wandlungsfähigkeit der Elektronikproduzenten zu steigern, soll das modulare Planungswerkzeug das Produktionsmanagement bei Planungsaufgaben sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Ebene unter-

stützen. Dies schließt die vollständige Beurteilung von Veränderungen der Produktionsstrategie sowie von Maßnahmen zur Prozessgestaltung als Reaktion auf technologische oder kapazitive Veränderungen mit ein.

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist eine Analyse der technologischen und organisatorischen Trends in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau (Kapitel 2). Die Forderung nach zunehmender Wandlungsfähigkeit steht in engem Zusammenhang mit dem Make-or-Buy Entscheidungsproblem. Die Gefahr von Know-how Verlusten infolge von Fehlentscheidungen ist in der Elektronikproduktion aufgrund des raschen technologischen Wandels besonders hoch. Vor diesem Hintergrund wird in Kapitel 3 ein Modul zum Make-or-Buy Management entwickelt.

Zentrale Voraussetzung für ein effizientes Produktionsmanagement ist die Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene. In Kapitel 4 wird deshalb, gestützt auf die Leistungspotenziale des Werkzeuges Simulation, ein Modul zum Prozess-Engineering entwickelt. Grundlage des entwickelten Moduls ist ein Branchenprozessmodell, das sowohl die Fertigungsprozesse als auch die fertigungsunterstützenden Prozesse umfasst.

Gegenstand von Kapitel 5 ist die Integration der beiden entwickelten Module zu einem modularen Planungswerkzeug. In diesem Zusammenhang wird der Ansatz der simulationsgestützten Wirtschaftlichkeitsanalyse vorgestellt, der die Analyse und Bewertung der aus unterschiedlichen Make-or-Buy Strategien resultierenden Prozess- und Kostenstrukturen unter Berücksichtigung der im Unternehmen vorhandenen Rationalisierungspotenziale unterstützt.

In Kapitel 6 wird auf der Grundlage eines gemeinsamen Datenmodells das PC-gestützte Planungswerkzeug ProEPM (Produktionsmanagement in der Elektronik-produktion im Maschinenbau) implementiert. Abschließend werden in Kapitel 7 die Erfahrungen aus dem Einsatz des PC-gestützten Planungswerkzeuges anhand von zwei Anwendungsfällen in einem Beispielunternehmen dargestellt.

2 Situationsanalyse der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

2.1 Systemgeschäft als Perspektive für den Maschinen- und Gerätebau

Der Maschinen- und Gerätebau unterliegt wie kaum eine andere Branche einem rasanten Strukturwandel. Wesentliche Ursachen für den Strukturwandel sind neben der Globalisierung und dem damit einhergehenden Wandel von Verkäufer- hin zu Käufermärkten die zunehmend enge Verzahnung des Maschinen- und Gerätebaus mit der Mikroelektronik [24]. Bedingt durch den steigenden Einsatz von Elektronik und Software in Form von mechatronischen Subsystemen [121], z.B. intelligenten, miniaturisierten Baugruppen in Maschinenkomponenten, verändern sich im Maschinen- und Gerätebau die technologischen Anforderungen immer schneller. Die immer kürzeren Innovationszyklen in der Elektronik und Software bieten hierbei auf der einen Seite umfangreiche Potenziale zur signifikanten Steigerung des Kundennutzens, erfordern aber auf der anderen Seite von den Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus auch, dass sie ihre Einschätzungen bezüglich der Kernkompetenzen neu überdenken.

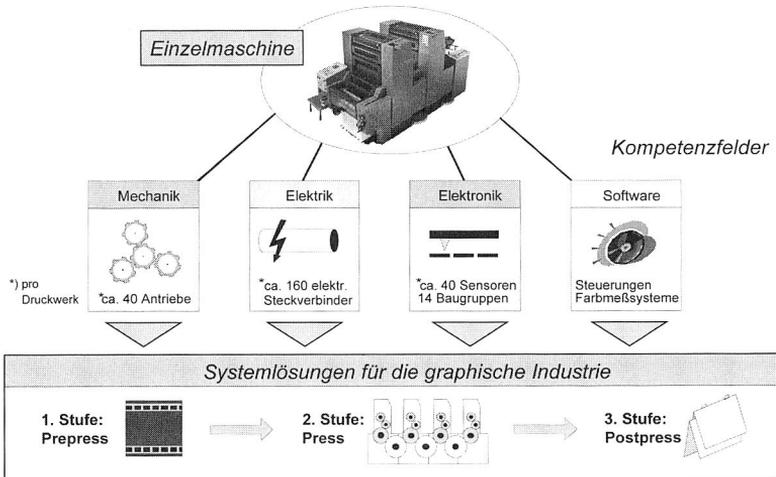


Bild 3: Systemgeschäft am Beispiel eines Druckmaschinenherstellers

Als Antwort auf den skizzierten Strukturwandel haben einige Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus den Weg von der Einzelmaschine hin zu kompletten Systemlösungen, bestehend aus integrierten Maschinensystemen mit entsprechender Dienstleistung über den gesamten Produktlebenszyklus, bereits erfolgreich beschrit-

ten. Damit geht das Produktgeschäft in das Systemgeschäft über [15]. Nach Melzig et al. [79] ist die Systemfähigkeit heute eines der wichtigsten Ziele von Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus.

Nach Dittler [22] versteht man unter Systemgeschäft die Bündelung verschiedener Leistungen zu einem Problemlösungspaket. Dies setzt von den Unternehmen die Fähigkeit voraus, fremdbezogene Komponenten zu innovativen Produkten zu kombinieren und in Verbindung mit der eigenen Kernkompetenz als gemeinsame Leistung am Markt zu positionieren. Dies wiederum stellt viele Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus vor die Wahl, ihr Know-how zu erweitern oder über Kooperationen die Ressourcen und Kompetenzen anderer Unternehmen zu nutzen [14]. Mit dem Ziel, Systemkompetenz aufzubauen, kommt es deshalb einerseits verstärkt zur Abspaltung von Unternehmenseinheiten im Rahmen von Kerngeschäftsstrategien. Andererseits lassen sich in der Branche derzeit verstärkt Unternehmensübernahmen und Kooperationen beobachten [73, 90].

Aus der Verbindung von Mikroelektronik und Software resultieren bislang nicht gekannte Fortschritte in der Leistungsfähigkeit, Flexibilität, Anpassungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Vernetzbarkeit technischer Systeme. Der Einsatz von intelligenten Maschinenkomponenten in Form von mechatronischen Subsystemen eröffnet vollkommen neue Möglichkeiten und führt zu einer Erhöhung der Funktionsdichte [101, 103]. Im Folgenden soll am Beispiel eines Druckmaschinenherstellers der zunehmende Trend hin zum Systemgeschäft erläutert werden (Bild 3). Zielsetzung eines Systemanbieters ist es, nicht nur einzelne Komponenten zur Erzeugung von Printprodukten zu liefern, sondern Workflow-Lösungen für den gesamten Druckprozess und die dazu erforderlichen Systemelemente anzubieten. Dies setzt umfassende Kompetenzen in den Bereichen Mechanik, Elektrik, Elektronik und Software voraus. Wie in Bild 3 dargestellt, besteht beispielsweise eine voll digitalisierte Mehrfarbendruckmaschine, deren Gesamtsystem vollständig auf Rechnerverarbeitung und Speicherung der Daten gestellt ist, aus einer Vielzahl an Baugruppen und Komponenten.

Auch in der Druckmaschinenindustrie entstehen Produktmerkmale häufig durch den Einsatz von intelligenter Sensorik bzw. Aktorik in Verbindung mit Software. So ermöglicht beispielsweise, unterstützt durch Sensorik und Software, die Erfassung von Betriebsdaten die Möglichkeit gezielter Diagnose. Softwaremodule kommen darüber hinaus zur Gestaltung von Bedienoberflächen (hardwarenahe Software) sowie für Algorithmen für Farb- und Registermesssysteme (applikationsspezifische Software) zum Einsatz. Neueste Analysen zeigen, dass beispielsweise bei Werkzeugmaschinen der Anteil der elektronischen Ausstattung und der Software an den Herstellkosten heute teilweise bei 40% liegt, wohingegen der Beitrag der Elektronik und

Software zum Markterfolg und dem Kundennutzen mit bis zu 50% anzusetzen ist [89].

Vor dem Hintergrund des zunehmenden Trends hin zum Systemgeschäft als Reaktion auf den soeben skizzierten Strukturwandel stellt sich die Frage, inwieweit sich bei den Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus die Einschätzungen bezüglich der Kernkompetenzen bereits verändert haben. Ein Indikator für ein Redesign der eigenen Wertschöpfungsprozesse ist die Entwicklung der Fertigungstiefe. Die Diskussion über die Entwicklung der Fertigungstiefe im Maschinen- und Gerätebau wurde in den letzten Jahren sehr kontrovers geführt. Nach Schneider/Baur [114] vollzog sich bei den Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus die Reduzierung der Wertschöpfungstiefe in den letzten Jahren vielfach unbemerkt, einerseits aufgrund der schleichenden Technologieveränderungen, andererseits aufgrund oft nur schwer feststellbarer Markt- und Nachfrageveränderungen.

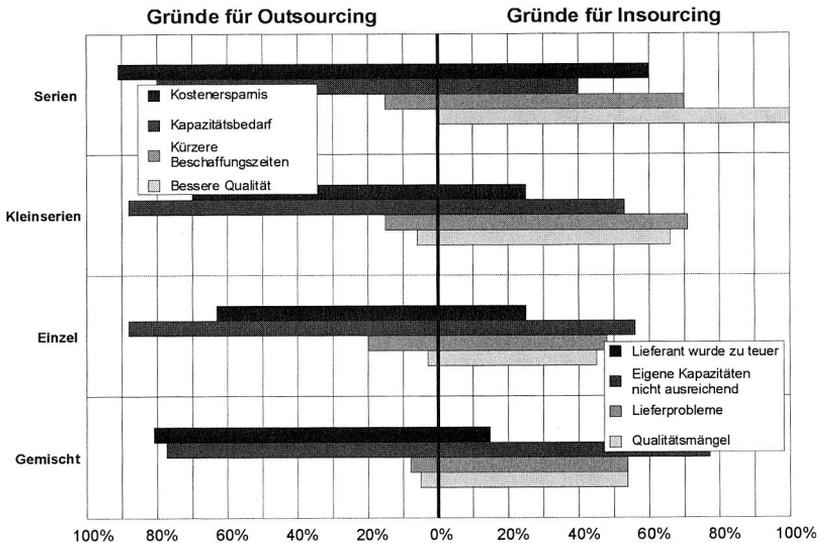


Bild 4: Gründe für das Out- und Insourcing bei Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus in Abhängigkeit von der Fertigungsart [11]

Um ein differenziertes Bild über die tatsächliche Entwicklung der Fertigungstiefe und die zu Grunde liegenden Motive zu erstellen, wurde vom VDMA im Jahr 1998 eine Umfrage durchgeführt, an der sich 158 Unternehmen beteiligt haben [11]. Nach den Ergebnissen der vom VDMA durchgeführten Studie ist die Fertigungstiefe im deutschen Maschinen- und Anlagenbau wieder auf derzeit rund 50% angestiegen.

Eine genauere Analyse der Motive für Outsourcing zeigt, dass bei Serien- und Gemischtfertigern die Entscheidung für Outsourcing primär kostenorientiert getroffen wird (Bild 4 links). Bei den Einzel- und Kleinserienfertigern hingegen sind fehlende Kapazitäten dominierend. Von wesentlich geringerer Bedeutung ist das Kriterium der kürzeren Beschaffungszeiten. Die Erwartungen auf eine bessere Qualität durch Outsourcing sind außerordentlich gering und spielen bei der Entscheidung für Outsourcing eine untergeordnete Rolle. Trotz dieser geringen Erwartungen sind jedoch gerade diese Kriterien entscheidend für Insourcing-Maßnahmen.

Wie auf der rechten Hälfte in Bild 4 erkennbar, begründen alle Serienfertiger ihre Entscheidung für Insourcing mit Qualitätsmängeln. Selbst bei Kleinserienfertigern ist dieses Merkmal dominierend. Einzel- und Gemischtfertiger geben je zur Hälfte dieses Merkmal als Entscheidungskriterium an. Bei ihnen ist jedoch von größerer Bedeutung, dass die eigenen Kapazitäten nicht ausreichend ausgelastet waren. Eine hohe Bedeutung kommt auch Lieferproblemen zu. Als ein weiterer wichtiger Grund zum Insourcing wird von den Serienfertigern in der VDMA-Studie angegeben, dass die Lieferanten zu teuer wurden.

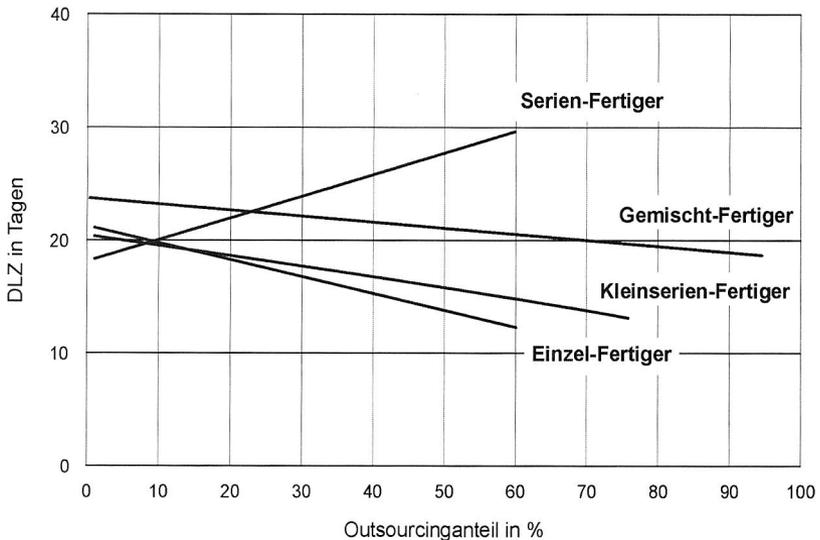


Bild 5: Durchlaufzeit in Abhängigkeit vom Outsourcing-Anteil [11]

Darüber hinaus konnte im Rahmen der VDMA-Studie bei der Suche nach weiteren Gründen für Insourcing ein negativer Einfluss des Outsourcinganteils auf die Durchlaufzeit festgestellt werden. In Bild 5 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Er bekräftigt

tigt die hohen Anforderungen der Serienhersteller an die Termintreue, die von den Lieferanten nicht eingehalten werden konnte. Aus Sicht der Serienhersteller zeichnet sich damit deutlich eine Entwicklung von der bisherigen starken Kostenorientierung hin zu einer Zeit- und damit Prozessorientierung ab. Die Eigenfertigung ermöglicht es, aufgrund der abnehmenden Schnittstellen beispielsweise im Fall einer Änderung von Kundenwünschen schneller und flexibler zu reagieren und so die Auftragsabwicklung zu beschleunigen. Die logistischen Vorteile überkompensieren also die Kostennachteile. Diese Problematik scheint sich bei den Einzel-, Kleinserien- und Gemischtfertigern nicht so gravierend auszuwirken, denn mit zunehmendem Outsourcinganteil sank bei ihnen sogar die Durchlaufzeit. Dies ist vermutlich auf die mit dem Outsourcing einhergehende Verringerung der Komplexität im eigenen Unternehmen zurückzuführen.

Die Ergebnisse der durchgeführten VDMA-Studie lassen jedoch keine detaillierten Aussagen bezüglich der Auswirkungen der zunehmend engeren Verzahnung des Maschinen- und Gerätebaus mit der Mikroelektronik zu. Insbesondere bleibt die Frage offen, inwieweit aus Sicht der Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus die Stärkung von Elektronikkompetenz durch den Aufbau einer eigenen Elektronikentwicklung bzw. -fertigung einen Mehrwert für den nachgelagerten Maschinenbau darstellt. Deshalb sollen im Folgenden aus dem Blickwinkel der Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus die organisatorischen und technologischen Trends im Umfeld der Elektronikproduktion untersucht sowie deren Auswirkungen auf die Produktion elektronischer Baugruppen näher beleuchtet werden.

2.2 Organisatorische und technologische Trends im Umfeld der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

Aufbauend auf einer Analyse der aktuellen Wettbewerbssituation in der Elektronikproduktion werden im Folgenden die organisatorischen und technologischen Trends im Umfeld der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau untersucht.

2.2.1 Analyse der aktuellen Wettbewerbsbedingungen in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

Die aktuelle Wettbewerbssituation in der Elektronikproduktion ist neben wenigen Großunternehmen durch eine große Vielfalt außerordentlich leistungsfähiger Elektronikhersteller geprägt. Nach Syska [130, 131] lassen sich im Wesentlichen drei Arten von Elektronikhersteller unterscheiden: Bei der ersten Gruppe handelt es sich um die sogenannten Lohnbestücker, die in der Regel low-tech Produkte durch vornehmlich angelernte Arbeitskräfte manuell bestücken lassen. Alle erforderlichen Materialien und Bestückunterlagen werden in der Regel durch die Kunden zur Verfügung gestellt. Die zweite Gruppe umfasst die Systemlieferanten. Wesentliches Merkmal

der global agierenden Bestückungsdienstleister ist die Fähigkeit, die Produktidee eines Kunden in ein ausgereiftes Produkt umzusetzen. Die global agierenden Bestückungsdienstleister verfügen häufig über eigene Entwicklungsabteilungen und sind überregional für renommierte Unternehmen unterschiedlichster Branchen tätig. Die dritte Gruppe bilden die sogenannten Elektronik-Inhousefertiger. Diese stehen häufig vor dem Dilemma, das für das Kerngeschäft des internen Kunden benötigte Know-how nicht zu verlieren, gleichzeitig aber die für die Baugruppenproduktion benötigten Fertigungskapazitäten kontinuierlich auszulasten. Insgesamt gesehen lässt sich feststellen, dass mit zunehmendem technologischen Anspruch der Markt an Bestückungsdienstleistern auseinanderdriftet – in die reinen Lohnbestücker auf der einen Seite und die Systemlieferanten und Elektronik-Inhousefertiger auf der anderen Seite.

Eine detaillierte Analyse der logistischen Kette der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau zeigt, dass sich vor dem Hintergrund der zunehmenden Präsenz global agierender Bestückungsdienstleister die Bedeutung der Elektronik-Inhousefertiger in den letzten Jahre entscheidend verändert hat (Bild 6).

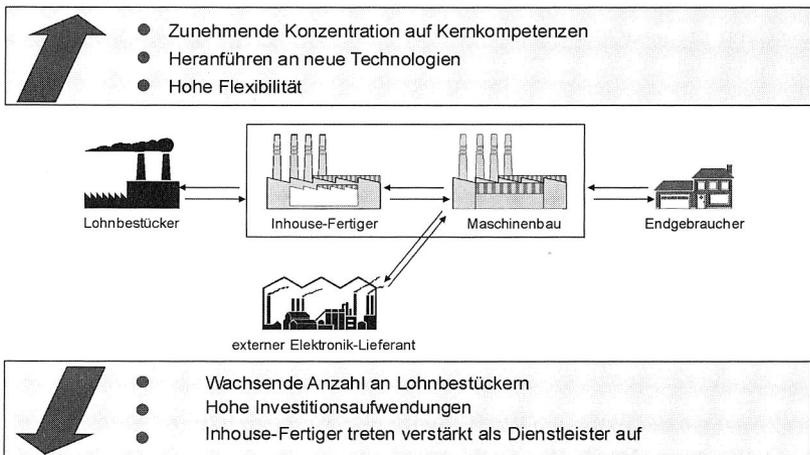


Bild 6: Bedeutungswandel aus Sicht der Elektronik-Inhousefertiger [32]

In einer Vielzahl von Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus, in denen die Elektronikproduktion traditionell funktional eingegliedert war, werden die Elektronikbereiche im Zuge der Konzentration auf die Kernkompetenzen zu eigenständigen Cost- oder Profit-Centern umorganisiert. Zusätzlich treten Elektronik-Inhousefertiger heute verstärkt als Dienstleister am externen Markt auf. Dies birgt jedoch nicht nur Chancen, sondern auch erhebliche Risiken. Mit der Öffnung gegenüber dem exter-

nen Markt löst sich in den Elektronikbereichen die organisatorische Verbindung zwischen den Entwicklungsabteilungen und der zugehörigen Produktion zunehmend auf. Dies führt einerseits dazu, dass die Produktionsstätten mehrere Kunden auf der Entwicklungsseite zu bedienen haben. Andererseits verbleibt mit den Elektronik-Entwicklungsabteilungen das produktspezifische, verfahrenstechnische Know-how weiterhin in den Maschinenbauunternehmen, die dann die erforderlichen Fertigungsleistungen im Bedarfsfall auch von externen Bestückungsdienstleistern beziehen können.

Zahlreiche Elektronik-Inhousefertiger haben bereits erfolgreich den vollständigen Wandel zu eigenständigen Unternehmen vollzogen. Derartige Unternehmen treten in Konkurrenz zu den traditionellen Auftragsfertigern und versuchen, neben der Positionierung von Marktanteilen im Branchensegment der traditionellen Industrieelektronik weitere Geschäftsfelder für sich zu erschließen.

Eine besondere Gefahr für die Inhouse-Elektronikfertiger geht von den global agierenden Bestückungsdienstleistern aus. Diese sind aufgrund der günstigen weltweiten Beschaffungsmöglichkeiten in der Lage, den Einkaufsabteilungen des Maschinen- und Gerätebaus besonders aggressive Angebote zu unterbreiten. Die Frage der Einkaufsbedingungen am Komponentenmarkt ist in der Elektronikproduktion vor allem deshalb so erfolgskritisch, da der Wertanteil des Materials an elektronischen Baugruppen teilweise bei bis zu 80% liegt. Kostenseitig haben Elektronik-Inhousefertiger im Vergleich zu den global agierenden Bestückungsdienstleister zukünftig nur dann noch eine Chance, wenn es ihnen gelingt, mit zugeschnittenen Prozessen von höchster Qualität das von dem nachgelagerten Maschinenbau angeforderte Baugruppenspektrum zu fertigen [152].

Verstärkt durch die am Bestückermarkt zu beobachtenden Konzentrationstendenzen erlangen Bestückungsdienstleister weltweit eine immer größere Bedeutung. Während der Elektronikmarkt für Elektronik-Inhousefertiger in den nächsten Jahren nur moderat ansteigen wird, steigt der Markt für Bestückungsdienstleister erheblich (Bild 7). Diese Entwicklung ist auf mehrere Ursachen zurückzuführen:

Ein erster Bereich betrifft die Auslagerung der Produktion durch Unternehmen, die sich mit dem Ziel der Produktivitätssteigerung zunehmend auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren. Dazu gehören gerade auch große Unternehmen der Elektrobranche.

Ein zweiter Bereich betrifft Unternehmen, die ihre Stärken im Maschinen- und Gerätebau haben und sich durch die zunehmende Integration elektronischer Komponenten mit dem Problemfeld Make-or-Buy auseinandersetzen müssen. Dies reicht von klein- und mittelständischen Unternehmen bis hin zu Großunternehmen, die oftmals über eine eigene Elektronik-Inhousefertigung verfügen. Obwohl auch die Inhousefer-

tiger verstärkt am Markt als Dienstleister auftreten, geht dies nicht zu Lasten der Bestückungsdienstleister. Vielmehr kommt den Bestückungsdienstleistern zukünftig verstärkt die Aufgabe zu, die Elektronik-Inhousefertiger an neue Verbindungstechnologien heranzuführen.

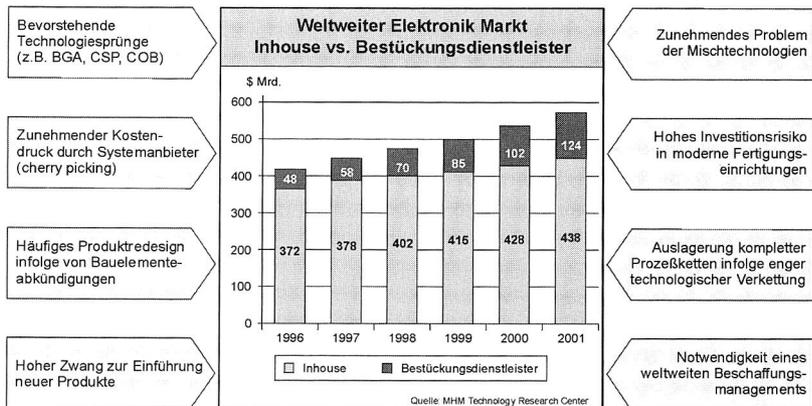


Bild 7: Ursachen für die Zunahme der Outsourcing-Umfänge in der Elektronikproduktion

Ausgehend von dieser allgemeingültigen Analyse der Outsourcing-Umfänge in der Elektronikproduktion stellt sich die Frage, inwieweit der Trend einer Zunahme der Outsourcing-Umfänge auch in der Elektronikproduktion im Maschinenbau feststellbar ist. Zur Beantwortung dieser Frage soll die vom Beratungsunternehmen McKinsey durchgeführte Studie „Excellence in Electronics“ herangezogen werden [77]. Zielsetzung dieser Studie war es, die Erfolgsfaktoren in Entwicklung und Fertigung für die Branchensegmente Konsumelektronik, Computer/Kommunikation sowie Industrieelektronik zu ermitteln. Ein Vergleich der in diesen Branchensegmenten verfolgten Fertigungsstrategien zeigt, dass einem Eigenfertigungsanteil im Segment Konsumelektronik von lediglich 40% ein Eigenfertigungsanteil im Segment Industrieelektronik von 83% gegenübersteht (Bild 8). Ohne auf die genauen Ursachen einzugehen, macht dieses Ergebnis deutlich, dass in jedem Segment andere Fertigungsstrategien und damit auch andere Erfolgsfaktoren von Bedeutung sind. Zusätzlich ist erkennbar, dass im Branchensegment Industrieelektronik der Eigenfertigungsanteil noch vergleichsweise hoch ist. Im Folgenden sollen mögliche Ursachen für den vergleichsweise hohen Eigenfertigungsanteil aufgezeigt sowie darauf aufbauend mögliche Konsequenzen für die Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau abgeleitet werden.

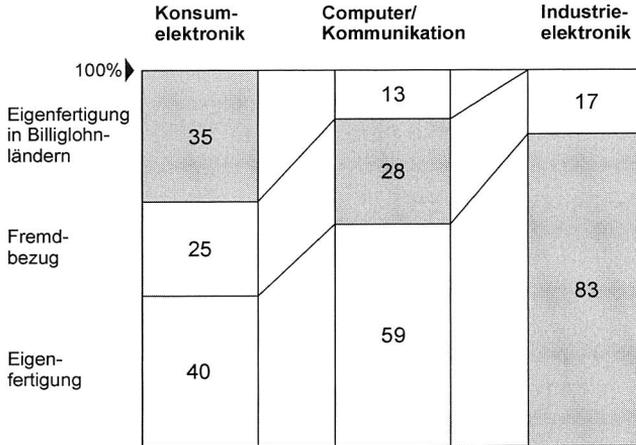


Bild 8: Bestückung von Flachbaugruppen: Fertigungsstrategien nach Branchensegmenten [77]

2.2.2 Veränderung der Wertschöpfungsstrukturen in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

Über alle Branchen hinweg lässt sich derzeit der Trend beobachten, dass die Entwicklung von Produkten und Systemlösungen immer stärker durch die eingesetzten elektronischen Komponenten und die Software geprägt wird. Wie bereits in Kapitel 2.1 am Beispiel der Druckmaschine aufgezeigt, gewinnen auch im Maschinen- und Gerätebau insbesondere Kompetenzen in den Bereichen Elektronik und Software zunehmend an Bedeutung. Nicht zuletzt aufgrund des zunehmenden Einflusses der Elektronik in Verbindung mit Software haben sich die Wertschöpfungsstrukturen im Maschinenbau gleich auf zweifache Weise verändert (Bild 9).

In der ersten Stufe lassen sich durch elektronische Systeme mit programmierbaren Steuerungen und Sensoren rationelle Produktionsstrukturen für die Herstellung von Druckmaschinen aufbauen. Ein Beispiel für derartige Ansätze ist die Fertigung hochpräziser Zahnräder, die eine exakte Synchronisation der Druckwerke sicherstellen.

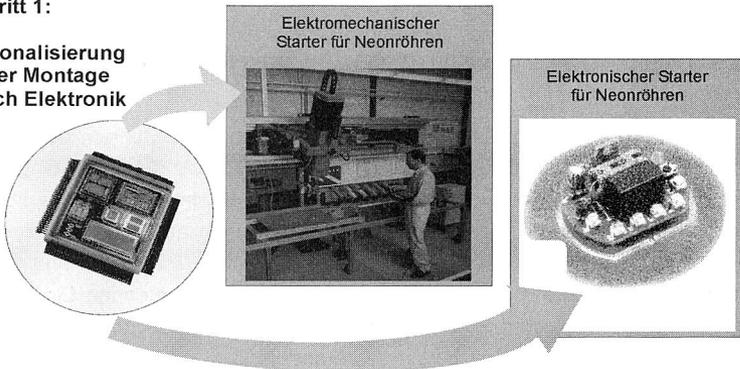
In einer zweiten Stufe kann diese Produktfunktion durch eine elektronisch gelöste Funktion vollständig ersetzt werden. Was heute bei Druckmaschinen an Präzision teilweise noch durch hochgenaue Zahnräder realisiert wird, wird sich zukünftig verstärkt in die Software in Verbindung mit digitalen, intelligenten Antrieben verlagern. Die Zahnradfertigung und –montage, ehemals Kernkompetenz von Druckmaschinenherstellern, wird durch den Einsatz von Elektronik in Verbindung mit Software teilweise überflüssig. Aufgrund des zunehmenden Wertschöpfungsanteils und des

Beitrags zum Verkaufserfolg von Elektronik und Software sinkt damit insgesamt der Anteil und der qualitative Anspruch an die mechanische Produktion.

Ein Beleg für diese Entwicklung sind die gegenwärtigen Trends im Bereich der Antriebs- und Steuerungstechnik von Druckmaschinen, die durch die Schlagworte intelligente Antriebe und Open Control (OPC) beschrieben werden können. Die räumliche Ausdehnung und die Vielzahl der auszuführenden Funktionen bei Systemlösungen für die Druckindustrie lassen die Möglichkeiten digitaler, intelligenter Antriebe beispielhaft erkennen. In Verbindung mit moderner Steuerungstechnik, z.B. Open Control (OPC) als Schnittstelle für herstellerübergreifende Hard- und Software, kann im Gegensatz zu Zentralantrieben jeder Einzelantrieb gezielt auf den jeweiligen Prozess abgestimmt werden. Die Regler der einzelnen Maschinenmodule sind untereinander mit Bussystemen verbunden und können kommunizieren. Durch dieses Konzept ist ein Mehr an Funktionalität und Flexibilität des einzelnen Prozesses möglich, was wiederum neue Potenziale für Entwicklungen im Systemgeschäft für Druckmaschinen eröffnet [132].

Schritt 1:

**Rationalisierung
in der Montage
durch Elektronik**



Schritt 2:

Substitution der Montage durch Elektronik

Bild 9: Rationalisierungs- und Substitutionseffekte durch Elektronik [28]

Die Auswirkungen der zunehmenden Substitution von Mechanik durch Elektronik auf die Wertschöpfungskette in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau soll anhand eines Zahlenbeispiels verdeutlicht werden. In Bild 10 sind für die Produkttechnologien Elektromechanik und Digitalelektronik der Fertigungs- und Entwicklungsaufwand einander gegenübergestellt [23]. Bezogen auf den Fertigungsaufwand ist erkennbar, dass gemessen am Verhältnis der Fertigungsstunden eine elektromechanische Lösung mit einem etwa doppelt so hohen Fertigungsaufwand verbunden

ist wie eine vergleichbare digitalelektronische Lösung. Umgekehrt verhält es sich bei einem Vergleich des anfallenden Entwicklungsaufwandes. Mit dem Übergang von einer elektromechanischen zu einer digitalelektronischen Lösung erhöht sich der Entwicklungsaufwand etwa um den Faktor 10. Auffällig im Fall der digitalelektronischen Lösung ist dabei der hohe Software-Entwicklungsaufwand, der bei etwa 70% des Gesamtentwicklungsaufwandes liegt. Dies stellt die Elektronikbereiche des Maschinen- und Gerätebaus vor vollkommen neue Herausforderungen. Neben der Frage der Elektronikentwicklung und -fertigung rückt damit die Frage der Softwareentwicklung zunehmend in den Mittelpunkt der Betrachtung.

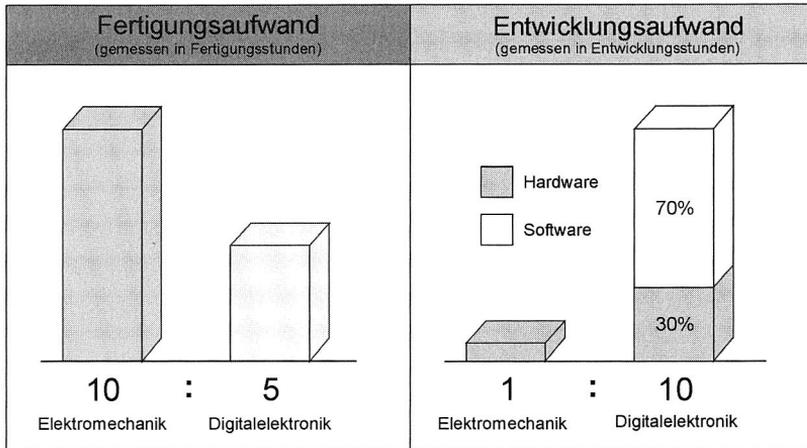


Bild 10: Vergleich des Fertigungs- und Entwicklungsaufwandes Elektromechanik vs. Digital-elektronik [23]

Im Folgenden sollen die Veränderungen der Wertschöpfungsstrukturen in den Branchen der Automobilindustrie, der Elektronikindustrie und dem Maschinen- und Gerätebau einander gegenübergestellt werden.

Ein durchgehender Ansatz, von der Pkw-Montage über die Elektronikmontage bis hin zur Montage von Werkzeugmaschinen, ist die stärkere Konzentration auf Funktionsverdichtung in Subsystemen (Bild 11). In der Pkw-Montage bedeutet dies Vormontage von komplexen Einheiten wie Tür oder Cockpit, in der Elektronikmontage der Schaltungsaufbau mit wenigen, aber dafür hochintegrierten Schaltkreisen, im Maschinen- und Gerätebau die Integration von komplexen Funktionsmodulen und intelligenten Maschinenkomponenten, wie zum Beispiel Motorspindeln oder Multifunktionsgreifer mit dezentraler, integrierter Elektronik und Software [132].

Im Maschinen- und Gerätebau werden mit dem Einsatz intelligenter Maschinenkomponenten und deren Vernetzung gleichzeitig mehrere Zielsetzungen verfolgt. Einerseits sollen dadurch überschaubare Funktionsmodule innerhalb der komplexen Maschinen erreicht werden, was wiederum dazu beiträgt, die Maschinen trotz ihrer hohen Komplexität kostengünstiger zu gestalten. Andererseits lässt sich die Betriebsicherheit und Zuverlässigkeit der Produktionsmaschinen erhöhen. Dies setzt allerdings die Festlegung von standardisierten Schnittstellen für die Integration miniaturisierter Baugruppen in Produktionsmaschinen und Maschinenkomponenten voraus [37].

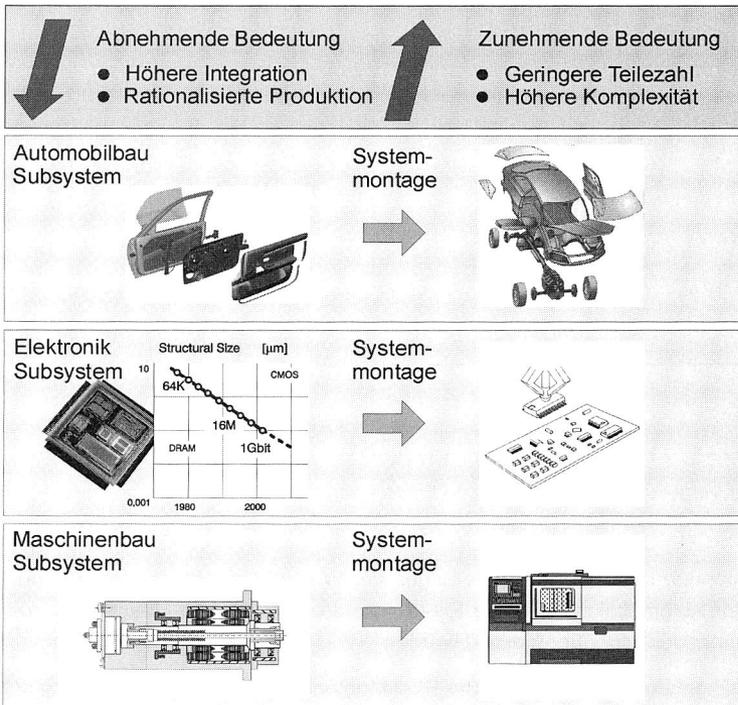


Bild 11: Zunehmender Trend hin zur Systemmontage [30]

Das zunehmende Leistungsangebot an kompetenten Bestückungsdienstleistern sowie der Trend hin zur Integration miniaturisierter Baugruppen in Produktionsmaschinen und Maschinenkomponenten zeigen, dass aus Sicht der Elektronik-Inhouseproduzenten die Fokussierung auf die Bestückprozesse alleine nicht mehr ausreicht. Vielmehr müssen auf der Grundlage des erfahrungstechnischen Hintergrunds bezüg-

lich der Anwendung des nachgeschalteten Maschinenbaus ganze Prozessketten, vom Design über Einkauf und Produktion bis zu Reparatur und Service, beherrscht werden. Aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von high-tech und low-volume können die Elektronik-Inhouseproduzenten zukünftig jedoch nicht das komplette Leistungsspektrum, das für die Entwicklung und Fertigung der elektronischen Baugruppen erforderlich ist, zu wettbewerbsfähigen Preisen abdecken. Vor diesem Hintergrund müssen Elektronik-Inhouseproduzenten im Fall neuer oder auslaufender Technologien verstärkt über strategische Aspekte des Outsourcings nachdenken und für sich die Frage beantworten, wie durch Integration des zunehmenden Leistungspotenzials der Bestückungsdienstleister die eigene Leistungsfähigkeit erhöht werden kann.

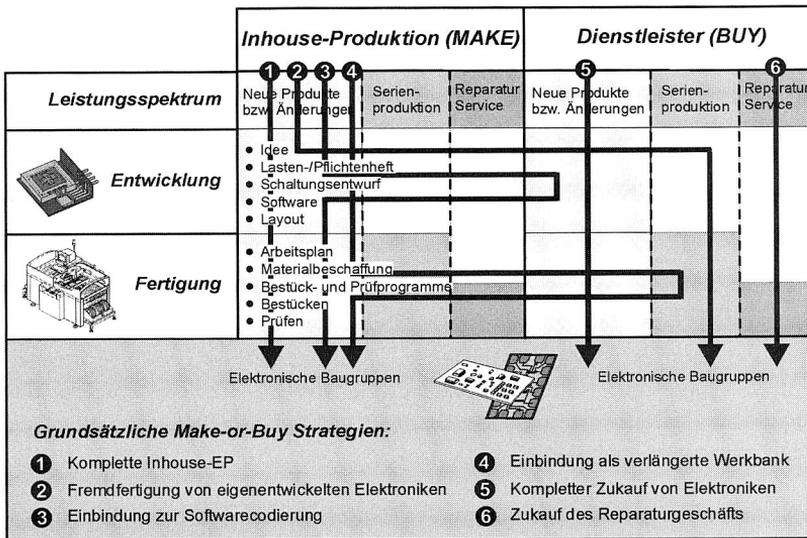


Bild 12: Bandbreite möglicher Make-or-Buy Strategien aus Sicht eines Elektronik-Inhouseproduzenten

In Bild 12 ist die Bandbreite möglicher Make-or-Buy Strategien aus Sicht eines Elektronik-Inhouseproduzenten dargestellt. Die für die Produktion einer elektronischen Baugruppe erforderlichen Prozessstufen lassen sich in Entwicklungs- und Fertigungsprozesse unterteilen. Unter der Voraussetzung, dass geeignete Ressourcen vorhanden sind, kann die jeweilige Prozessstufe sowohl von einem Elektronik-Inhouseproduzenten als auch von einem Bestückungsdienstleister durchgeführt werden. Grundsätzlich verfolgen beide Seiten das Interesse, den Produkterstellungsprozess über möglichst viele Wertschöpfungsstufen im eigenen Unternehmen zu halten

und so den eigenen Wertschöpfungs- und Dienstleistungsanteil zu erhöhen. Der Elektronik-Inhouseproduzent wird allerdings nur diejenigen Leistungen des Bestückungsdienstleisters in Anspruch nehmen, die dieser nachweislich besser und wirtschaftlicher ausführen kann als er selbst.

Anhand der Pfeile in Bild 12 lässt sich die Bandbreite möglicher Make-or-Buy-Strategien aus Sicht eines Elektronik-Inhouseproduzenten in Bezug auf Entwicklungs- und Fertigungsleistung veranschaulichen. Diese Darstellung macht deutlich, dass Make-or-Buy Entscheidungen keine reinen Entweder-Oder-Entscheidungen sind, sondern dass die Strategiefälle Make und Buy die Endpunkte für ein Kontinuum von Entscheidungsmöglichkeiten repräsentieren. Ein Beispiel für eine Make-or-Buy Strategie aus Sicht des Inhouseproduzenten im Entwicklungsbereich ist die Fremdvergabe des Prozessschrittes Softwarecodierung, ein Beispiel im Fertigungsbereich ist der Bezug von vorbestückten Leiterplatten mit ungehäuteten Chips.

Daraus wird deutlich, dass die zentrale Herausforderung sowohl aus Sicht der Elektronik-Inhouseproduzenten als auch aus Sicht der Bestückungsdienstleister in der Integration aller zur Erstellung einer elektronischen Baugruppe notwendigen Prozesse zum Vorteil des nachgelagerten Maschinenbaus besteht. Dies setzt die Vermeidung von Schnittstellen durch Medienbrüche voraus.

2.3 Analyse der Auswirkungen auf die Produktion elektronischer Baugruppen

Aufbauend auf den soeben dargestellten organisatorischen und technologischen Trends im Umfeld der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau werden im Folgenden die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Produktion von elektronischen Baugruppen analysiert.

2.3.1 Analyse der Auswirkungen neuer Bauelementeformen und Substratmaterialien in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

Die rasche Innovationsfolge bei technischen Produkten und die zunehmende Integration von Funktionen in die Baugruppe sowie von Baugruppen in Maschinen und Anlagen stehen in enger Wechselwirkung mit den Möglichkeiten, die sich durch neue Schaltungsträger, alternative Verbindungstechniken und immer weiter miniaturisierte Bauelemente ergeben. Davon sind sowohl Standardbaugruppen als auch dezentrale, integrierte Elektroniksysteme betroffen [77].

Treibende Kraft für die stetige Veränderung elektronischer Baugruppen in Funktionalität und Komplexität ist nach wie vor die rasante Innovation in der Halbleiterindustrie. Die Mikroelektronik stimuliert die Entwicklung und das Volumen der übrigen

Bauelemente und nimmt aufgrund ihrer enormen Hebelwirkung für die gesamte volkswirtschaftliche Entwicklung eine zentrale Stellung ein [133].

Die Produktionskapazität für Mikroelektronik konzentriert sich in Japan, Nordamerika, Westeuropa und Teilen Südostasiens [133]. Im Jahr 1998 war das Geschehen am Welt-Halbleitermarkt durch beachtliche Verschiebungen zwischen den Regionen gekennzeichnet. Die Region Europa ist zum weltweit zweitgrößten Mikroelektronik-Verbraucher aufgerückt. Japan hat dramatisch verloren und bildet erstmalig das Schusslicht in der Triade. Insgesamt gesehen hat sich der Mikroelektronikverbrauch pro Kopf der Bevölkerung in der Triade USA, Europa und Japan im Durchschnitt in den letzten acht Jahren mehr als verdoppelt. Aus heutiger Sicht wird der Welt-Halbleitermarkt, bei einem durchschnittlichen Wachstum von ca. 16% über die kommenden Jahre, auf ca. 265 Mrd. \$ im Jahre 2003 anwachsen und sich damit gegenüber dem heutigen Marktvolumen mehr als verdoppeln.

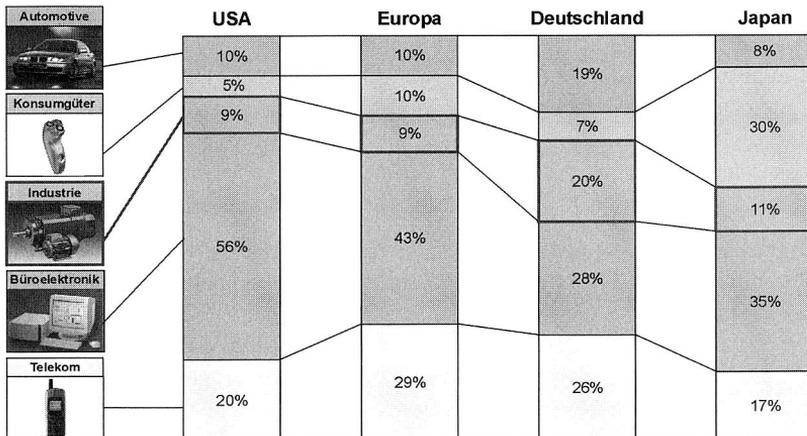


Bild 13: Mikroelektronikverbrauch in der Triade nach Marktsektoren im Jahr 1998 [133]

In der Vergangenheit kam es jedoch auch zu beträchtlichen Verschiebungen zwischen den Marktsektoren. Ein Vergleich des Verbrauchs an Mikroelektronik in der Triade nach Marktsektoren im Jahr 1998 macht dies deutlich (Bild 13). Während in den USA und Europa die Bereiche Büroelektronik und Telekommunikation ganz eindeutig das Marktgeschehen dominieren, ist in Japan nach wie vor der traditionelle Bereich der Konsumelektronik führend. Ein vollständig anderes Bild ergibt eine Analyse des Mikroelektronikverbrauchs nach Marktsektoren in Deutschland. Besonders auffällig ist der hohe Anteil an Industrieelektronik mit 20% im Jahr 1998, gefolgt von den Bereichen Büroelektronik, Telekommunikation und Automobilelektronik, die je-

weils mit einem Anteil von 28%, 26% beziehungsweise 19% vertreten sind. In der Vergangenheit wurde deutlich, dass Deutschland aufgrund der annähernd gleichmäßigen Verteilung des Mikroelektronikverbrauchs auf die verschiedenen Marktsektoren im Vergleich zu anderen Industrienationen für Schwächen des Weltmarktes weitaus weniger anfällig ist.

Auch in der Zukunft wird sich jedoch innerhalb der nach außen stagnierenden Branche der erhebliche Strukturwandel weiter fortsetzen. Nach neuesten Schätzungen ist davon auszugehen, dass in Deutschland im Jahr 2003 die Automobilelektronik bereits einen um 28% höheren Mikroelektronikbedarf haben wird als die bedeutende Industrieelektronik und etwa fünfmal mehr Mikroelektronik verbrauchen wird als die einstmals führende Konsumelektronik.

Die mit den gestiegenen Kundenanforderungen einhergehende Forderung nach einer fortschreitenden Miniaturisierung elektronischer Baugruppen setzt eine hohe Funktionsintegration in wenige, kleinere Bauelemente voraus. Dies stellt insbesondere die Bauelementehersteller vor neue Herausforderungen. Bei den aktiven Bauelementen wird auch zukünftig eine Performanceerhöhung in vielfältiger Hinsicht zu sehen sein. Mit kürzer werdenden Signalwegen nimmt die Integrationsdichte und Komplexität weiter zu, Schaltfrequenzen und Geschwindigkeiten werden erhöht. Derzeit stellt insbesondere der Anstieg der Verlustleistung die technologische Begrenzung dar [42].

Das Packaging der Komponenten folgt dieser Entwicklung durch veränderte Anschlussarten. Wie in Bild 14 dargestellt, wird branchenübergreifend der Anteil der IC-Bauelemente in THD-Bauweise bis zum Jahr 2005 auf ca. 11% abnehmen. Während der Anteil der SMD-Bauelemente in den nächsten Jahren kontinuierlich ansteigen wird, zeichnet sich bei den ungehäusten Chips ein überproportionaler Anstieg auf über 20% des verarbeiteten Bauelementevolumens im Jahr 2005 ab. Die hohe Integration elektrischer Funktionen auf einem einzigen Silizium-Chip führt wiederum zu steigenden Anschlusszahlen, die nur durch eine Verringerung des Anschlussrasters oder durch neue Anschlussstrukturen (Array) bewältigt werden können. Dieser rapide Bedeutungsgewinn ungehäuster Chips ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass das sogenannte Advanced Packaging die elektrische Performance bei deutlich geringerem Flächen- und Gewichtsbedarf noch stärker unterstützt.

Für den Schaltungsträger ergeben sich hieraus high-tech Anforderungen, die nur mit feinsten Strukturen, neuen Bohr- und Ätztechniken sowie innovativer Lagengestaltung oder den Übergang auf vollständig neue Schaltungsträgermaterialien, wie beispielsweise der Folientechnologie, gelöst werden können.

Ein differenziertes Bild ergibt sich jedoch bei einer genaueren Analyse der Entwicklungstrends im Hinblick auf die spezifischen Anforderungen in den unterschiedlichen Geschäftsfeldern der Elektronikproduktion (Bild 14). Während der Bereich der Konsumelektronik nach wie vor durch einsteck- und oberflächenmontierte, gehäusete Bauelemente bestimmt wird, kommen insbesondere in den Produktbereichen Computer und Kommunikation verstärkt neuere Aufbau- und Verbindungstechnologien zum Einsatz. Die klassische SMD-Technologie wird durch hochminiaturisierte, hochpolige Bauelemente (QFPs, BGAs) und Area Array Packages (TAB, COB und Flip Chip) ergänzt. Dies ist nicht zuletzt das Ergebnis verstärkter Bestrebungen nach Minimierung und Funktionsintegration als Voraussetzung für den schnell wachsenden Anteil tragbarer Elektronikprodukte in den Bereichen Computer und Kommunikation.

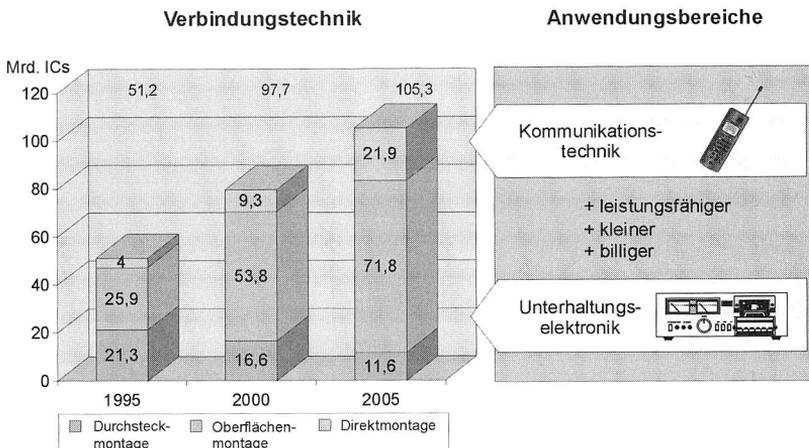


Bild 14: Entwicklungsperspektiven der Verbindungstechnik und zugehörige Anwendungsbereiche (in Anlehnung an [40])

Auch in der Elektronikproduktion im Maschinenbau verstärken die Forderungen nach zunehmenden Funktionen und einer verbesserten Bedienerführung der Geräte den Zwang zu einer höheren Packungsdichte und damit den Übergang auf neue Technologien. Mit dem Ziel, detaillierte Aussagen für die in der Elektronikproduktion im Maschinenbau vorrangig eingesetzten Bauelementetechnologien und Schaltungsträgermaterialien abzuleiten, wurde im Rahmen des VDI-Erfakreises Elektronikproduktion im Maschinenbau eine Benchmarkstudie durchgeführt [35]. An der Studie haben sich fünf Elektronik-Inhouseproduzenten sowie ein Bestückungsdienstleister beteiligt, dessen Kunden sich überwiegend im Umfeld des Maschinenbaus bewegen.

Als Indikatoren für die Komplexität der in den Unternehmen produzierten elektronischen Baugruppen wurden die Kennzahlen Anzahl der Bauelemente pro Leiter-

platte, verarbeitete Bauelemente-Größe sowie das Rastermaß untersucht. Diese Kennzahlen lassen auch Rückschlüsse auf die in den Unternehmen derzeit eingesetzten Bauelementetechnologien zu. Die Auswertung dieser Kennzahlen im Rahmen der durchgeführten Benchmarkstudie ergab folgende Ergebnisse (Bild 15):

Bei der Frage nach der Anzahl an Bauelementen pro Leiterplatte ist kein eindeutiger Trend erkennbar. Während ein Unternehmen elektronische Baugruppen ausschließlich in einem Bereich von >500 Bauelementen pro Leiterplatte produziert, fertigt ein anderes Unternehmen sogar im Bereich von <10 Bauelementen pro Leiterplatte. Dies ist darauf zurückzuführen, dass von den Unternehmen ein breites Spektrum an Funktionsbaugruppen abgedeckt werden muss. Neben Baugruppen für die Steuer-elektronik werden vielfach auch Baugruppen für die Leistungselektronik sowie für einfache Anzeigen hergestellt.

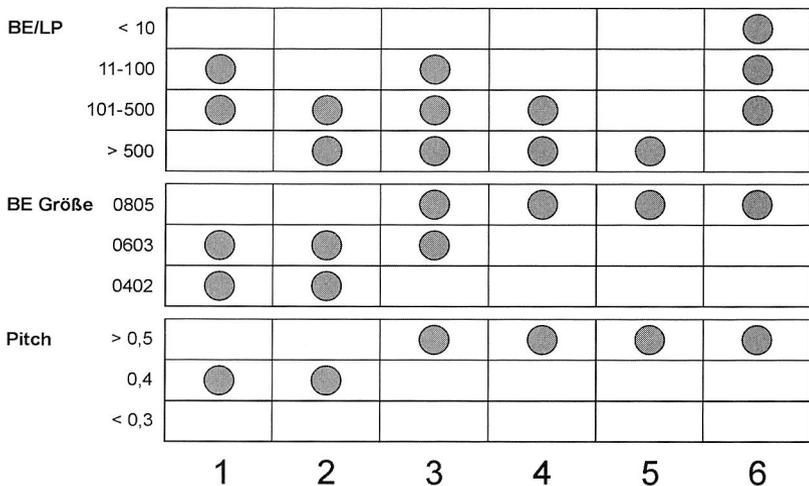


Bild 15: Komplexität der produzierten Baugruppen in der Elektronikproduktion im Maschinenbau gemessen an BE/LP, Bauelemente-Größe und Rastermaß [35]

Auf die Frage nach der Bauelementegröße ergibt sich ebenfalls ein sehr uneinheitliches Bild. Während die Mehrzahl der Unternehmen überwiegend Bauelemente der Größe 0805 verarbeiten, kommen bei zwei der Unternehmen auch Bauelemente der Größe 0402 zum Einsatz.

Bei der Frage nach dem Rastermaß gibt die Mehrzahl der Unternehmen ein Rastermaß von über 0,5 mm an. Dies zeigt, dass in der Elektronikproduktion im Maschinenbau wegen der geringen Notwendigkeit zur Miniaturisierung der Trend, auf hochinte-

grierte Bauelemente mit hohen Anschlusszahlen überzugehen, derzeit nicht erkennbar ist.

Die Auswertung der Frage nach den eingesetzten Schaltungsträgern ergibt mit einer Ausnahme dagegen ein sehr einheitliches Bild (Bild 16). Demnach kommen derzeit in der Elektronikproduktion im Maschinenbau ausschließlich starre, mehrlagige Leiterplatten zum Einsatz.

Verallgemeinert lassen sich die im Rahmen dieser Benchmarkstudie erzielten Ergebnisse wie folgt zusammenfassen: Die Elektronikfertiger im Umfeld der Elektronikproduktion im Maschinenbau operieren in einem Spannungsfeld, das durch hohe technologische Anforderungen (high-tech) sowie hoher Variantenvielfalt (high-mix) bei gleichzeitig geringer Stückzahl (low-volume) gekennzeichnet ist.

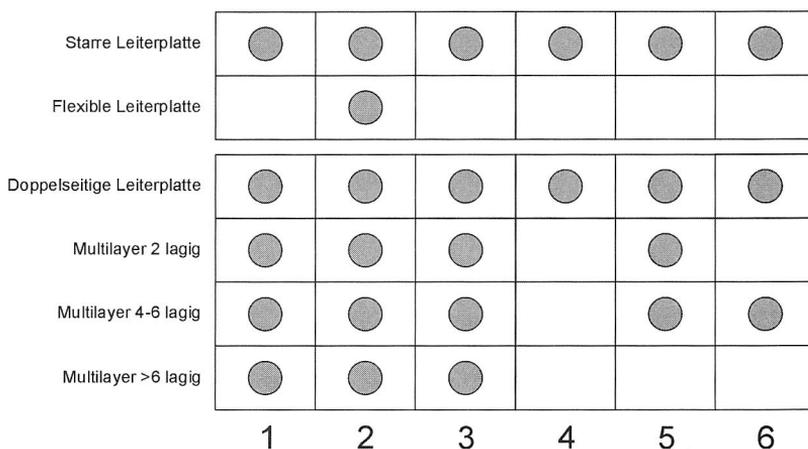


Bild 16: Eingesetzte Schaltungsträger in der Elektronikproduktion im Maschinenbau [35]

2.3.2 Wirtschaftliche Produktion elektronischer Baugruppen im Spannungsfeld von high-tech und low-volume

Ausgehend von der Analyse der Auswirkungen neuer Bauelementeformen und Substratmaterialien in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau soll im Folgenden der Frage nachgegangen werden, wie im Spannungsfeld von high-tech und low-volume eine wirtschaftliche Produktion elektronischer Baugruppen sichergestellt werden kann. Neben der Frage der Entwicklung der Kapitalproduktivität muss in diesem Zusammenhang auch das zunehmende Verlustrisiko infolge der steigenden Investitionsaufwendungen sowie das für die Elektronikproduktion im Maschinenbau

spezifische Problem der Ersatzteilversorgungspflicht in die Überlegungen einbezogen werden.

In Bild 17 sind für ein Beispielunternehmen aus dem Umfeld der Elektronikproduktion im Maschinenbau die Entwicklungen der Investitionsaufwendungen sowie der Kapitalproduktivität über die Zeit aufgetragen. Am Investitionsverhalten des Beispielunternehmens ist erkennbar, dass sich durchschnittlich alle 4-5 Jahre die Frage nach einer Investition in neue Bestückerichtungen stellt. Besonders auffällig ist der deutliche Anstieg der erforderlichen Investitionsaufwendungen im Zeitverlauf. Dem gegenüber nimmt die Kapitalproduktivität gemessen an der Anzahl an gesetzten Bauelementen pro Mitarbeiter und Jahr je 1000 DM eingesetztem Kapital kontinuierlich ab. Die rückläufige Kapitalproduktivität ist einerseits auf den steigenden Kapitaleinsatz, verbunden mit dem Problem der zunehmenden Fixkosten, zurückzuführen. Andererseits bringen die großen Produktivitätssteigerungen moderner Bestückerichtungen auch eine Steigerung der effektiv verfügbaren Produktionskapazität mit sich. Werden alte Bestückerichtungen und Arbeitsplätze nicht schnell genug redimensioniert, sehen sich die Elektronikfertiger sehr schnell mit dem Problem ungenutzter Kapazitäten konfrontiert.

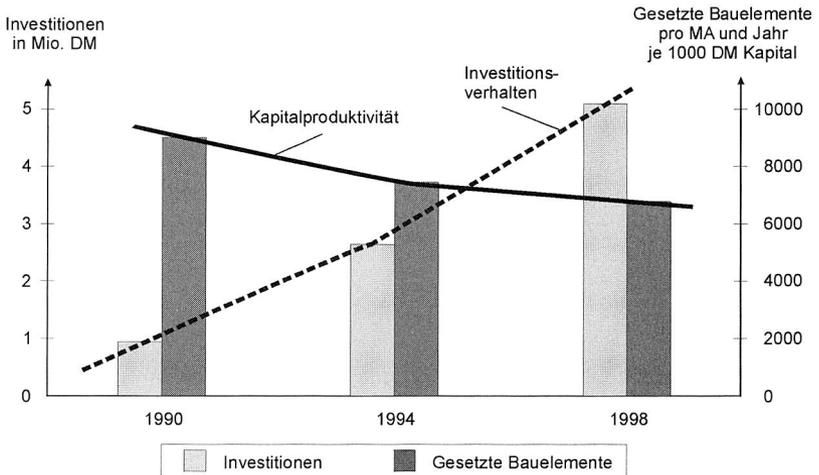


Bild 17: Investitionsverhalten und Entwicklung der Kapitalproduktivität für ein Beispielunternehmen

Wie bereits in Kapitel 2.3.1 erläutert, bewegen sich die Elektronikfertiger im Umfeld des Maschinen- und Gerätebaus in einem besonders ungünstigen Spannungsfeld von hohen technologischen Anforderungen bei gleichzeitig niedrigen Stückzahlen. In

Bild 18 ist exemplarisch anhand von Beispieldaten eines Bestückungsdienstleisters der Zusammenhang zwischen der Entwicklung des Produktionsvolumens und der Entwicklung der Produktionskapazitäten dargestellt.

Der rasche technologische Wandel, induziert durch Innovationen in der Mikroelektronik, hat zur Folge, dass sich in der Baugruppenfertigung gleichzeitig mehrere Bauelementegenerationen in unterschiedlicher Applikationsbreite im Einsatz befinden. Die daraus resultierende Breite ganz unterschiedliche Aufbau- und Verbindungstechnologien führt dazu, dass die Aufwände, die als Vorleistung zur Entwicklung einer Technologie von den Elektronikfertigern aufgebracht werden müssen, erheblich ansteigen. Zusätzlich erhöht sich durch Mischtechnologien das mit den hohen Investitionsaufwendungen verbundene Verlustrisiko. Im Gegensatz dazu laufen Elektronikfertiger Gefahr, in die Bedeutungslosigkeit abzudriften, wenn sie bestimmte technologische Fähigkeiten nicht beherrschen. Die zentrale Herausforderung für Elektronikfertiger im Umfeld des Maschinenbaus besteht somit einerseits im Aufbau technologischer Fähigkeiten vor dem Hintergrund begrenzter Ressourcen und enger Termenschranken und andererseits in beherrschten Prozessen bei kleinen Stückzahlen. Das Management der unterschiedlichen Aufbau- und Verbindungstechnologien wird damit zum Schlüssel für eine wirtschaftliche Baugruppenfertigung.

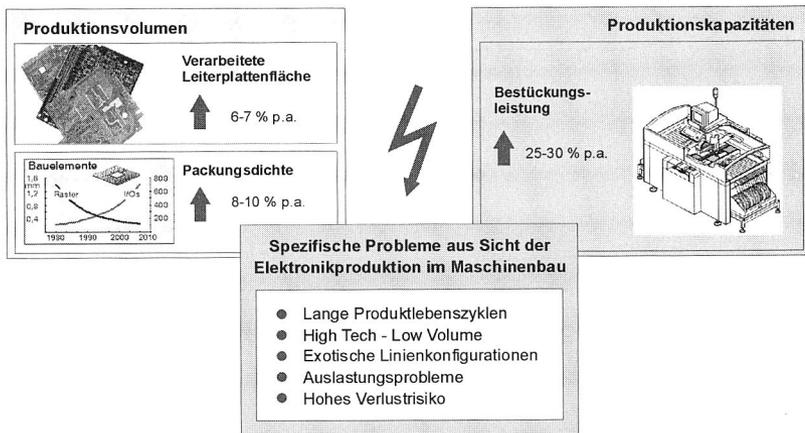


Bild 18: Hohes Verlustrisiko im Spannungsfeld von high-tech und low-volume

Ein weiteres spezifisches Problem aus Sicht der Elektronikproduktion im Maschinenbau ist die Frage, wie die Elektronikfertiger zu wirtschaftlichen Bedingungen die Verfügbarkeit der elektronischen Baugruppen für den nachgelagerten Maschinenbau langfristige sicherstellen können.

Aus Sicht der Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus sind die Erwartungen der Endkunden im Hinblick auf die Gewährleistung einer optimalen Ersatzteilversorgung deutlich gestiegen. Die Produkte des Maschinenbaus zeichnen sich im Vergleich zu anderen Branchen durch deutlich längere Produktlebenszyklen von bis zu 35 Jahren aus (Bild 19). Während die Bereitstellung mechanischer Komponenten über einen derartig langen Zeitraum vergleichsweise unkritisch ist, stellt für die Elektronikfertiger im Umfeld des Maschinenbaus bedingt durch den raschen technologischen Wandel das Auslaufmanagement eine besondere Herausforderung dar. So sind beispielsweise beim Übergang von der Serienversorgung zur Nachserienversorgung die erforderlichen Bauelemente häufig nicht mehr verfügbar, da wichtige Funktionsbausteine durch die Bauelementehersteller bereits abgekündigt wurden. Ein weiteres Problem resultiert oft daraus, dass die Ersatzteilbaugruppen auf Serieneinrichtungen gefertigt werden, wodurch wichtige Serienaufträge blockiert werden.

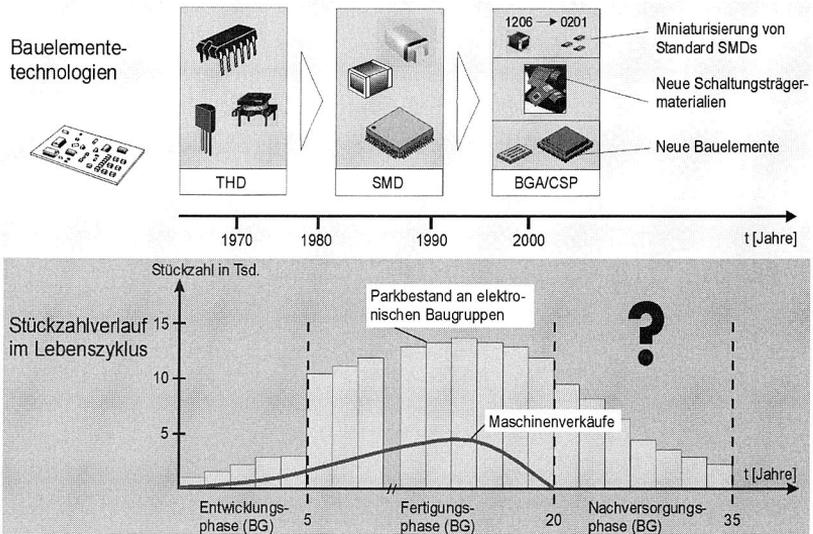


Bild 19: Produktlebenszyklusphasen einer elektronischen Baugruppe im Umfeld der Elektronikproduktion im Maschinenbau

Aus Sicht der Elektronik-Inhousefertiger gibt es eine große Bandbreite an Maßnahmen, die im Rahmen des Auslaufmanagements durchgeführt werden können. So kann beispielsweise eine Schlusseindeckung sowohl auf Bauelementeebene als auch auf Baugruppenebene erfolgen. Sollen die entsprechenden elektronischen Baugruppen auch weiterhin erst im Bedarfsfall hergestellt werden, stellt sich die Frage, welches Linienkonzept eine optimale Einsteuerung dieser Fertigungsaufträge unter-

stützt. Eine weitere Alternative stellt die Verlagerung derartiger Baugruppen zu einem Bestückungsdienstleister dar. Im Fall des Outsourcings von Baugruppen muss allerdings eindeutig geklärt werden, wer zukünftig die Gesamtverantwortung für die Baugruppe trägt und im Fall von Bauelementeabkündigungen ein Baugruppenredesign einleitet und durchführt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Elektronikfertiger im Umfeld des Maschinen- und Gerätebaus über die Beherrschung der neuesten Aufbau- und Verbindungstechniken hinaus über zusätzliche Engineering-Kompetenz für das Auslaufmanagement verfügen müssen.

2.4 Modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion

Nach Spur [128] wird unter Produktion die Überführung eines oder mehrerer Körper von einem Roh- in einen Fertigungszustand unter planmäßiger Einwirkung von Material, Energie und Information verstanden. Der Produktionsbegriff befasst sich somit mit Material-, Energie- und Informationsflüssen in ihrer Vielfalt und mit ihren Wechselwirkungen.

Für den Begriff Produktionsmanagement hingegen existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen [119]. So wird vielfach unter Produktionsmanagement lediglich die Produktionsplanung und Steuerung verstanden [84]. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein wesentlich weiter gefasster Begriff des Produktionsmanagements zu Grunde gelegt.

Das heutige Produktionsmanagement wird maßgeblich durch die Forderung nach einer erhöhten Wandlungsfähigkeit der Unternehmen geprägt [141, 142, 144]. Diese Forderung lässt sich daraus ableiten, dass die Einschätzbarkeit der Marktsituation dramatisch zurückgegangen ist. Reinhart [104] versteht unter Wandlungsfähigkeit die Fähigkeit von Unternehmen, sich aufgrund äußerer und innerer Einflüsse substantiell zu verändern. Der Begriff Wandlungsfähigkeit geht über die bisherige Forderung nach Flexibilität hinaus und schließt die Forderung nach einer Steigerung der Reaktionsfähigkeit mit ein. Nach Wiendahl [145] sind wandlungsfähige Unternehmen durch eine hohe Geschwindigkeit bei der Planung und Realisierung einerseits sowie durch eine ausgeprägte Fähigkeit zur raschen Veränderung andererseits gekennzeichnet.

Vor diesem Hintergrund muss ein modernes Produktionsmanagement den Anforderungen genügen, die sich aus der Forderung nach einer zunehmenden Wandlungsfähigkeit der Unternehmen ableiten lassen. Damit hat sich das Spektrum der Zielsetzungen eines modernen Produktionsmanagements im Vergleich zu früher deutlich verbreitert.

Die zentrale Aufgabe des modernen Produktionsmanagements besteht somit darin, die Wandlungsfähigkeit der Unternehmen auf Veränderungen der Produktionsbedingungen auf allen Ebenen zu steigern [119]. Auf der strategischen Ebene bedeutet dies, die Kernkompetenzen nach technologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten kontinuierlich auszurichten. Auf der taktisch-operativen Ebene bedeutet dies, die Prozesse zu beherrschen, um dadurch schnellstmöglich und zuverlässig auf technologische und kapazitive Veränderungen reagieren zu können.

2.4.1 Defizite bisheriger Ansätze und Verfahren zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion

Eine Analyse der bisher im Rahmen des Produktionsmanagements eingesetzten Ansätze und Verfahren zeigt jedoch, dass diese den Anforderungen, die sich aus der Forderung nach einer Steigerung der Wandlungsfähigkeit der Unternehmen auf allen Ebenen ableiten lassen, nicht gerecht werden. Dafür gibt es gleich mehrere Ursachen:

Bei den bisherigen Ansätzen und Verfahren zum Produktionsmanagement handelt es sich meist um isolierte Einzelkonzepte, die entweder auf der strategischen oder auf der taktisch-operativen Ebene zum Einsatz kommen [12]. Die Folge ist ein mangelnder Bezug der übergeordneten Planung zur Prozessebene. Die fehlende Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene führt dazu, dass eine Rückkopplung im Planungsprozess teilweise gar nicht, häufig jedoch nur mit einer erheblichen zeitlichen Verzögerung stattfindet.

Weiterhin lässt sich feststellen, dass zur Unterstützung eines modernen Produktionsmanagements keine in sich geschlossene und lückenlos aneinanderschließende Methodenlandschaft existiert. Eine Integration der bestehenden Ansätze und Verfahren ist insbesondere aufgrund des fehlenden Modellierungsansatzes nicht zu leisten. So werden häufig Fertigungsprozesse optimiert, ohne die Auswirkungen auf die begleitenden, fertigungsunterstützenden Prozesse zu berücksichtigen [119, 128]. Dies hat zur Folge, dass im Rahmen des Produktionsmanagements nach wie vor oftmals Teiloptima der einzelnen Funktionen bzw. Prozessstufen anstelle des Gesamtoptimums des Prozesses im Vordergrund stehen. Zusätzlich wird aufgrund des fehlenden Modellierungsansatzes eine durchgängige Kommunikation aller Unternehmensbereiche entlang der logistischen Kette von den bisherigen Ansätzen nicht unterstützt.

Ein weiteres Defizit der bisherigen Ansätze und Verfahren im Rahmen des Produktionsmanagements liegt in der fehlenden Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die mangelnde Durchgängigkeit in der Datenakquisition und –speicherung. Jeder der

auf der strategischen oder taktisch-operativen Ebene eingesetzten Ansätze verlangt seine eigenen Daten, die ihrerseits für eine weitere Verwendung häufig nicht geeignet abgelegt werden.

Die Ansätze und Verfahren im Rahmen des bisherigen Produktionsmanagements leisten bei der langfristigen, vorausschauenden und proaktiven Gestaltung von Produktionsstrukturen und -abläufen nur wenig Unterstützung. Insbesondere die Potenziale der modellbasierten Planung in Verbindung mit dem Einsatz von Simulationswerkzeugen werden bisher nicht ausreichend genutzt. Dies hat zur Folge, dass die Risiken von Know-how Verlusten infolge von Fehlentscheidungen sowie die Investitionsrisiken bei Produktions- und Logistiksystemen, die sich noch in der Planung befinden, sehr hoch sind.

Darüber hinaus greifen die bestehenden Ansätze und Verfahren bei der Frage der Einbindung externer Flexibilitätspotenziale in Form von Produktionsnetzen als Reaktion auf technologische und kapazitive Veränderungen zu kurz. Wie bereits in Kapitel 2.3.2 erläutert, gewinnt in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau mit Blick auf das hohe Verlustrisiko im Spannungsfeld von high-tech und low-volume der technologieorientierte und kapazitive Kapazitätsabgleiche in Produktionsnetzen als weitere Dimension der Wandlungsfähigkeit zunehmend an Bedeutung.

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieser Arbeit ein Planungswerkzeug zur Unterstützung des Produktionsmanagements in der Elektronikproduktion entwickelt werden mit dem Ziel, die Wandlungsfähigkeit der Unternehmen auf Veränderungen der Produktionsbedingungen sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Ebene zu unterstützen. Die Funktionalität des Planungswerkzeuges wird exemplarisch am Beispiel des Nachweises der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Prozessebene aufgezeigt.

2.4.2 Anforderungen an ein modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion

Auf Grundlage der soeben festgestellten Defizite bisheriger Ansätze und Verfahren zum Produktionsmanagement sollen im Folgenden die Anforderungen an ein modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion bestimmt werden.

Die Forderung nach zunehmender Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen steht in engem Zusammenhang mit dem Make-or-Buy Entscheidungsproblem. Mit dem Ziel, die Gefahr von Know-how Verlusten infolge von Fehlentscheidungen zu vermeiden, soll das modulare Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion die kontinuierliche Ausrichtung der Kernkompetenzen nach technologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten unterstützen.

Zur vollständigen Beurteilung von Veränderungen der Produktionsstrategie sowie von Maßnahmen zur Prozessgestaltung als Reaktion auf technologische oder kapazitive Veränderungen sollen mit Hilfe des modularen Planungswerkzeuges zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion die resultierenden Prozess- und Kostenstrukturen unter Berücksichtigung der im Unternehmen vorhandenen Rationalisierungspotenziale analysiert und bewertet werden können.

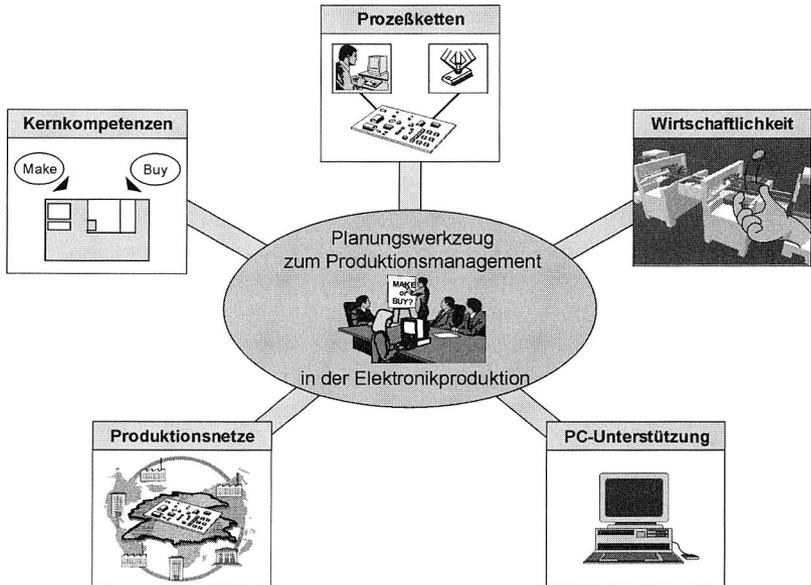


Bild 20: Anforderungen an ein modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion

Um die Lücke zwischen der strategischen und der taktisch-operativen Ebene zu schließen, soll gestützt auf die Leistungspotenziale des Werkzeuges Simulation eine Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene hergestellt werden. Die Simulation soll wertvolle Daten aus der Prozessebene liefern und dazu beitragen, die Reaktionszeit auf technologische oder kapazitive Veränderungen zu verkürzen.

Zentrale Voraussetzung für ein schnelles Reagieren auf technologische oder kapazitive Veränderungen sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Ebene ist ein gemeinsames Zielsystem, das eine Beurteilung von Veränderungen der Produktionsstrategie sowie von Maßnahmen zur Prozessgestaltung als Reaktion auf

technologische oder kapazitive Veränderungen an wettbewerbsorientierten Zielvorgaben unterstützt.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung von Produktionsnetzen ist die Funktionalität des modularen Planungswerkzeugs zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion auf Produktionsnetze als zusätzliche Dimension der Wandlungsfähigkeit zu erweitern.

Mit dem Ziel, schnellstmöglich und zuverlässig auf technologische und kapazitive Veränderungen reagieren zu können, soll die Funktionalität in einem PC-gestützten Planungswerkzeug unter einer einheitlichen Benutzeroberfläche integriert werden. Um den Aufwand für die Akquisition der erforderlichen Plandaten zu minimieren, sind zusätzlich Schnittstellen zu den bereits vorhandenen betrieblichen Informationssystemen zu schaffen. Das PC-gestützte Planungswerkzeug soll die Kommunikation aller Unternehmensbereiche entlang des gesamten Workflows unterstützen.

3 Entwicklung eines Moduls zum Make-or-Buy Management in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

Wie in Kapitel 2.4 erläutert, besteht eine zentrale Aufgabe des Produktionsmanagements auf der strategischen Ebene darin, die Kernkompetenzen und Kernprozesse nach technologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten kontinuierlich auszurichten. Die Forderung nach zunehmender Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen steht in engem Zusammenhang mit dem Make-or-Buy Entscheidungsproblem. Dies resultiert nicht zuletzt daraus, dass mit zunehmend raschen Technologizeyklen in der Elektronikproduktion auch Make-or-Buy Entscheidungen immer häufiger durchgeführt werden müssen. Angesichts der erheblichen Risiken, mit denen Make-or-Buy Entscheidungen behaftet sind, wird es deshalb immer wichtiger, Make-or-Buy Entscheidungen auf einer soliden Entscheidungsgrundlage zu treffen und diese Entscheidungen laufend zu überprüfen [1, 41, 83].

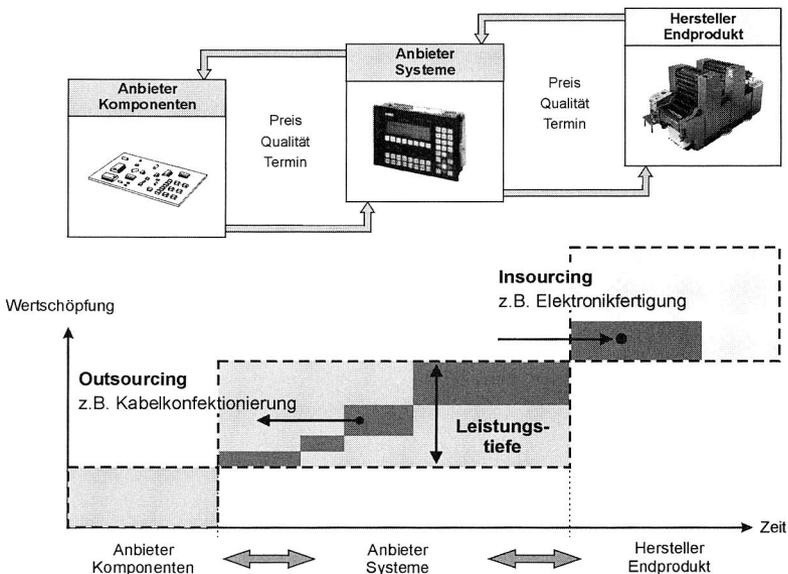


Bild 21: Abgrenzung des Begriffs Outsourcing

Im Folgenden wird aufbauend auf einer Diskussion von Strategien zur Neuausrichtung der Kernkompetenzen eine Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau entwickelt.

3.1 Strategien zur Neuausrichtung der Kernkompetenzen

Nach der Definition zentraler Begriffe, die im Zusammenhang mit dem Thema Make-or-Buy stehen, werden die Aufgaben und ausgewählte Instrumente des bisherigen Make-or-Buy Managements diskutiert. Darauf aufbauend werden allgemeine und spezifische Problemfelder des bisherigen Make-or-Buy Managements aus Sicht der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau aufgezeigt.

3.1.1 Begriffsdefinitionen

Die Kernaussage des Wertkettenansatzes von Porter [97] ist die Erkenntnis, dass sich nur durch Optimierung der gesamten Wertschöpfungsprozesse die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens steigern und signifikante Kostenvorteile erzielen lassen. Das Denken in Wertketten hat auch das Thema Make-or-Buy sehr befruchtet [70, 114]. Im Zusammenhang mit der Frage der Optimierung von Wertketten an den Unternehmensgrenzen rücken neben dem Begriff Make-or-Buy auch zunehmend die Schlagworte Outsourcing, Insourcing, Kernkompetenzen sowie Vorwärts- und Rückwärtsintegration in den Mittelpunkt der Betrachtung.

Ausgangspunkt der mit dem Schlagwort Outsourcing einhergehenden unternehmerischen Aktivitäten war die Fremdvergabe von Teilen, was sich jedoch rasch bis zur Vergabe von Funktionsbaugruppen und Komplettsystemen weiterentwickelt hat [6, 26]. Heute werden neben Fertigungsleistungen verstärkt auch komplette Entwicklungs- und Logistikdienstleistungspakete fremdvergeben.

Outsourcing stellt die Kurzform von „Outside Resource Using“ dar [10]. Unter Outsourcing versteht man die Übertragung von bisher im Unternehmen erbrachter Leistungen auf andere Unternehmen. Dagegen wird Insourcing als die Erweiterung eines Unternehmens durch Übernahme von Teilen des Wertschöpfungsprozesses in das Unternehmen definiert.

Kern der Make-or-Buy Entscheidung ist die Entscheidung über Outsourcing oder Insourcing. Nach Schönsleben [118] stellen Outsourcing-Entscheidungen eine Teilmenge der Make-or-Buy Entscheidungen des Unternehmens dar. Outsourcing-Überlegungen können lediglich bereits im Unternehmen erbrachte Leistungen betreffen, denn nur für diese kann über eine mögliche Auslagerung entschieden werden. Dem gegenüber treten Make-or-Buy Entscheidungen auch auf, bevor erstmalig eine Leistungserstellung erfolgt.

Die Strategiefälle Make und Buy sind jedoch lediglich als die Endpunkte eines Kontinuums von Handlungsmöglichkeiten zu verstehen [94]. Dazwischen gibt es unterschiedliche Sourcing-Strategien. Die ursprünglichste und immer noch gebräuchlichste Zwischenform ist die verlängerte Werkbank. Dabei handelt es sich um die

Verlagerung bestimmter Arbeitsgänge auf Unterlieferanten, welche nach präzisen Unterlagen des Auftraggebers oder nach dessen speziellen Anforderungen fertigen und liefern.

Nach Osterloh [92] bestehen Kernkompetenzen aus einer Verknüpfung von zusammenhängenden Aktivitäten, Entscheidungen, Informationen und Materialflüssen, die zusammen den Wettbewerbsvorteil eines Unternehmens ausmachen. Kernkompetenzen sind konsequent auf die strategischen Faktoren ausgerichtet, die für das Unternehmen von Bedeutung sind. Kernprozesse werden aus Kernkompetenzen abgeleitet und erfüllen folgende Kriterien:

- Wahrnehmbarer Kundennutzen: Die Prozesse müssen den Kunden einen wahrnehmbaren Nutzen stiften, für den diese zu zahlen bereit sind.
- Unternehmensspezifität: Die Prozesse müssen durch eine unternehmensspezifische Nutzung von Ressourcen einmalig sein.
- Nicht-Imitierbarkeit: Die Eigenheiten der Prozesse dürfen nicht leicht zu imitieren sein.
- Nicht Substituierbarkeit: Die Prozesse dürfen nicht durch andere Problemlösungen ersetzbar sein.

Erfüllen Prozesse diese Kriterien, so sind sie Quellen eines nachhaltigen Wettbewerbsvorteils und müssen innerhalb des Unternehmens ausgeführt werden. Sie sollten auf keinen Fall im Wege des Outsourcings ausgelagert werden.

In Bild 21 sind am Beispiel des Herstellprozesses einer Druckmaschine Stufen der Wertschöpfungskette in Form von Kunden-Lieferanten-Beziehungen dargestellt. Ausgangspunkt aller Make-or-Buy Überlegungen sind die von den Anbietern von Komponenten und Systemen beziehungsweise die von dem Hersteller des Endproduktes derzeit ausgeführten Wertketten.

Werden von einem Unternehmen vorgelagerte Stufen des Wertschöpfungsprozesses übernommen, die bisher Lieferanten ausgeführt haben, handelt es sich um eine Rückwärtsintegration. Eine Rückwärtsintegration bzw. ein Wechsel zu Make liegen beispielsweise vor, wenn ein Druckmaschinenhersteller nicht nur die Fertigung der mechanischen Komponenten und die Endmontage der Druckmaschine durchführt, sondern zukünftig auch die dazu erforderlichen elektronischen Systemkomponenten produziert, die früher von einem Systemlieferanten geliefert wurden. Im Gegensatz dazu handelt es sich um eine Vorwärtsintegration, wenn ein Unternehmen die Leistungen bisheriger Abnehmer integriert. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn sich ein Lohnbestücker zu einem Systemlieferanten mit eigener Entwicklungskompetenz weiterentwickelt. In beiden Fällen wird durch mehr Make die eigene Wertkette verlängert und die Wertschöpfungsquote erhöht. Umgekehrt verhält es sich im Fall von

Unternehmen, die Wertschöpfung abgeben und vermehrt von Buy Gebrauch machen.

3.1.2 Aufgaben und Instrumente des bisherigen Make-or-Buy Managements

Make-or-Buy Entscheidungen sind in verschiedenen Unternehmensbereichen zu fällen und betreffen häufig mehrere Bereiche gleichzeitig [74]. Je nach der Bedeutung für das Unternehmen, den Auswirkungen auf andere Unternehmensbereiche, dem Umfang der mit Make-or-Buy Entscheidungen verbundenen weiteren Maßnahmen und den betrachteten Zeiträumen sind die anfallenden Entscheidungen der strategischen oder der taktisch-operativen Entscheidungsebene zuzuordnen.

	Strategisch	Taktisch-operativ
Portfoliotechnik	●	
Kostenvergleichsrechnung	●	●
Transaktionskostenansatz	●	
Kriterienkataloge	●	●

Bild 22: Übersicht über ausgewählte Instrumente des bisherigen Make-or-Buy Managements

Zentrale Aufgabe des Make-or-Buy Managements auf der strategischen Entscheidungsebene ist die Definition von Kernkompetenzen und Kernprozessen sowie der Aufbau und die rechtzeitige Bereitstellung der dazu erforderlichen internen und externen Ressourcen. Mit dieser Aufgabe werden gleichzeitig die Anforderungen an die Organisation der Produktion und der Logistik, die Fertigungs- und Lagerstandorte, die Maschinenausstattung, die Kapazitäten, die Relevanz der Funktionsbereiche und die damit verbundene Verteilung der Ressourcen sowie die Quantität und Qualifikation des Personals festgelegt. Der Planungszeitraum ist eher langfristiger Natur und der Umfang an Make-or-Buy Objekten eher groß.

Im Gegensatz dazu besteht die zentrale Aufgabe des Make-or-Buy Managements auf der taktisch-operativen Entscheidungsebene darin, im Rahmen der Produktionsplanung und –steuerung eine regelmäßige Bewertung der Effizienz von betrieblichen Leistungen und Aktivitäten durchzuführen. Darauf aufbauend erfolgt, u.a. auch durch die Einbindung externer Kapazitäten, eine Anpassung der Kapazitäten an den erforderlichen Kapazitätsbedarf. Der Planungszeitraum ist somit eher kurzfristiger Natur und der Umfang an Make-or-Buy Objekten eher gering.

In der Literatur lassen sich vielfältige Instrumente zur Unterstützung des Make-or-Buy Managements finden [75, 94, 151]. Im Folgenden sollen ausgewählte Instrumente diskutiert und der strategischen beziehungsweise taktisch-operativen Entscheidungsebene zugeordnet werden. Eine Sonderrolle nehmen die kostenrechnerischen Instrumente ein. Während die Kostenvergleichsrechnung sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Entscheidungsebene zum Einsatz kommt, wird der Transaktionskostenansatz lediglich auf der strategischen Ebene zur Entscheidungsunterstützung herangezogen.

In Bild 22 sind die wichtigsten Instrumente, die im Rahmen des bisherigen Make-or-Buy Managements zum Einsatz kommen, dargestellt und nach ihrem Einsatzschwerpunkt klassifiziert. Im Folgenden sollen die einzelnen Instrumente vorgestellt und diskutiert werden.

Die Portfoliotechnik ist insbesondere auf den Gebieten der strategischen Planung, des Marketings und des Technologiemanagements weit verbreitet [151]. Im Zusammenhang mit der Identifikation von Outsourcingpotenzialen kommen sogenannte Technologieportfolios zum Einsatz. Um ein Technologieportfolio zu erstellen, müssen die betrieblichen Leistungen und Aktivitäten in einem Diagramm positioniert werden, das durch die beiden Dimensionen Verfügbarkeit am externen Markt und strategische Bedeutung aufgespannt wird. Auf Grundlage der relativen Position der betrieblichen Leistungen und Aktivitäten zu den Diagonalen lassen sich Outsourcingpotenziale aufzeigen.

In Bild 23 ist der Aufbau eines Technologieportfolios exemplarisch für ein Unternehmen aus der Elektronikindustrie dargestellt. Während Leiterplatten und Wickelgüter eindeutig als Buy-Objekte identifiziert werden können, lässt sich mit Hilfe des Technologieportfolios in Bezug auf die Flachbaugruppenfertigung keine eindeutige Aussage ableiten. Dennoch hat das Unternehmen von 1994 bis 1996 die Outsourcingquote bei Flachbaugruppen um 6% erhöht.

Ein entscheidender Nachteil von Technologieportfolios besteht darin, dass bedingt durch die reine Top-down Sichtweise sowohl die konkreten Randbedingungen der unternehmensindividuellen Technologieanwendung als auch die operative Gestaltung und Anpassung der Kernfähigkeiten und Kernprozesse nur unzureichend berücksichtigt werden. Dieses Instrument ist insbesondere nicht dazu geeignet, in konkreten Entscheidungssituationen fertigungstechnologiebezogene Aktivitäten zu identifizieren und unternehmensspezifisch zu bewerten.

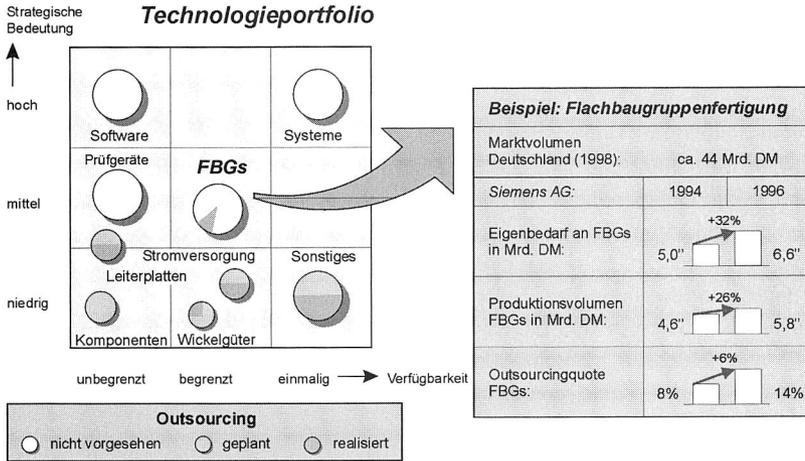


Bild 23: Technologieportfolio zur Bestimmung der Wertschöpfungstiefe

Eine wesentliche Aufgabe der kostenrechnerischen Methoden im Rahmen des Make-or-Buy Managements besteht darin, Informationen über die gegenwärtige Kostensituation und die voraussichtlichen Änderungen in der Kostenhöhe, dem Kostenverlauf und der Kostenstruktur als Entscheidungsgrundlage bereitzustellen. Nach Kemmner [62] sind im Rahmen des Make-or-Buy Managements kostenrechnerische Methoden nach wie vor das dominierende Instrument in der Praxis. Das zentrale Problem beim Einsatz kostenrechnerischer Methoden im Rahmen des Make-or-Buy Managements besteht in der Identifikation und Berücksichtigung der entscheidungsrelevanten Kosten [75]. Im Folgenden werden die Instrumente Kostenvergleichsrechnung, Prozesskostenrechnung und Transaktionskostenanalyse kurz vorgestellt und diskutiert. Dabei sollen insbesondere die Unterschiede im Hinblick auf die unterschiedlichen Kostenumfänge, die in die Betrachtung einbezogen werden, herausgearbeitet werden.

Nach Männel [75] besteht die Aufgabe der Kostenvergleichsrechnung im Zusammenhang mit Make-or-Buy Entscheidungen darin, durch entscheidungsrelevante Kosteninformationen denjenigen Beschaffungsfall zu bestimmen, der den größten wirtschaftlichen Vorteil beinhaltet. Im Rahmen der Kostenvergleichsrechnung werden für den Vergleich Eigenfertigung/Fremdbezug die direkten Herstellkosten der Eigenfertigungsprodukte den direkten Materialkosten (Einstandskosten) der fremdbezogenen Erzeugnisse gegenübergestellt. Zusätzlich werden die bei den Eigenfertigungsprodukten im Fertigungsgemeinkostenbereich und bei den Fremdbezugsprodukten in den indirekten Leistungsbereichen entstehenden Aufwände durch pau-

schale Verrechnungssätze berücksichtigt, die jedoch den tatsächlichen Aufwand häufig nicht verursachungsgerecht widerspiegeln.

Darüber hinaus sind in Abhängigkeit von dem Entscheidungshorizont und der Kapazitätsauslastung des Unternehmens unterschiedliche Kostenumfänge in die Betrachtung einzubeziehen (Bild 24). Die Schwierigkeit besteht darin, festzustellen, welche Kosten durch Outsourcing tatsächlich reduziert werden können und welche Möglichkeiten sich zur Variabilisierung von Fix- und Gemeinkostenstrukturen eröffnen. Dabei ist darauf zu achten, dass der einem Teilprozess zugeordnete Gemeinkostenanteil bei einer Fremdvergabe des Teilprozesses ebenfalls abgebaut werden muss, d.h. dass auch im Bereich des Gemeinkostenblocks eine Kapazitätsanpassung erfolgt [114]. In der Literatur herrscht jedoch die einhellige Meinung vor, dass Kostenvergleichsrechnungen keine ausreichende Entscheidungsgrundlage für Make-or-Buy Entscheidungen liefern [100, 114].

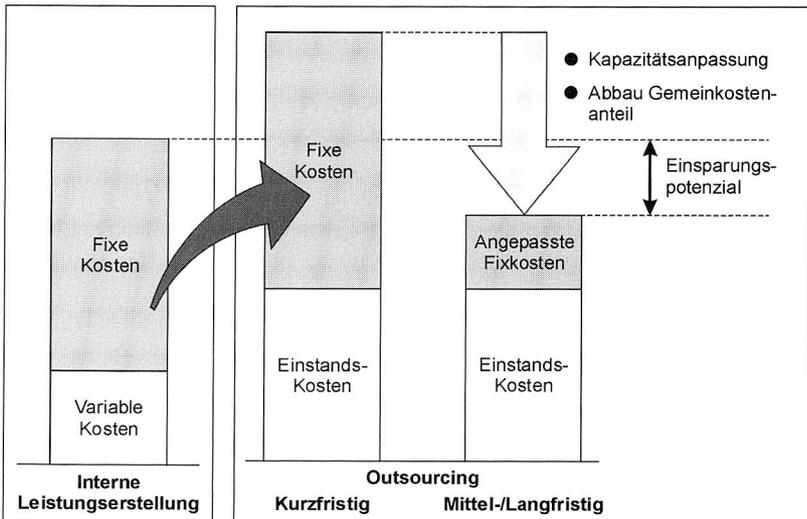


Bild 24: Kostenrechnerische Verfahren zur Bestimmung der optimalen Leistungstiefe

An dieser Stelle setzt die Prozesskostenrechnung an, indem sie der Frage nachgeht, wie die Einsparungspotenziale durch Outsourcing in den betroffenen Gemeinkostenbereichen verursachungsgerecht in den Make-or-Buy Kostenvergleich einbezogen werden können. Das Verfahren und die Vorgehensweise der Prozesskostenrechnung werden in Kapitel 5.3 vorgestellt.

Ein neueres Instrument des Make-or-Buy Managements ist der Transaktionskostenansatz [137]. Im Transaktionskostenansatz, der in erster Linie als eine Grundlage für strategische Entscheidungen dienen soll, werden Kostenaspekte ganz anderer Art berücksichtigt. Im Vordergrund des Transaktionskostenansatzes stehen nicht länger die Eigenerstellungskosten, sondern vielmehr die Kosten, die für die Anbahnung, Vereinbarung, Abwicklung, Kontrolle und Anpassung der zu erbringenden Leistung anfallen. Entscheidend ist, dass im Fall Fremdbezug Kosten in unterschiedlicher Höhe als im Fall Eigenfertigung entstehen. Diese Kosten werden in Relation gesetzt zu den Eigenschaften der zu erbringenden Leistung. Nach Picot [94] werden die Transaktionskosten wesentlich durch die Eigenschaften Spezifität, strategische Bedeutung, Unsicherheit sowie Häufigkeit der zu erbringenden Leistung bestimmt (Bild 25). So spricht beispielsweise die niedrige Spezifität einer zu erbringenden Leistung für einen niedrigen vertikalen Integrationsgrad, da diese Leistung als commodity jederzeit über den Beschaffungsmarkt bezogen werden kann. Problematisch an diesem Ansatz ist die Systematisierung und Operationalisierung der Transaktionskosten.

Vorrangige Eigenschaften	niedriger vertikaler Integrationsgrad	hoher vertikaler Integrationsgrad
Spezifität (z. B. Fertigungsverfahren, Design, Qualität, Know-how, Logistik)	niedrige Spezifität	hohe Spezifität
Strategische Bedeutung (besonders wettbewerbsrelevantes Wissen und Können)	geringe strategische Bedeutung	große strategische Bedeutung
Unterstützende Eigenschaften		
Unsicherheit (Änderungen hinsichtlich Qualität, Mengen, Termine, technische Spezifikation)	niedrige Unsicherheit	hohe Unsicherheit
Häufigkeit (einer spezifischen, strategischen und/oder unsicheren Leistung)	geringe Häufigkeit	große Häufigkeit

Bild 25: Transaktionskostenansatz: Eigenschaften der zu erbringenden Leistung

Während die Kostenvergleichs- und die Prozesskostenrechnung ausschließlich quantitative Kriterien berücksichtigen, sollen mit dem Einsatz von Kriterienkatalogen insbesondere qualitative Kriterien mit in die Make-or-Buy Entscheidung einbezogen werden. Die Bewertung qualitativer Kriterien als eine Komponente der Make-or-Buy Entscheidung wurde in der Literatur schon oft behandelt [78]. Gemeinsames Kennzeichen derartiger Kriteriensammlungen ist der Versuch, die Kriterien möglichst alle-

meingültig zu formulieren und zu beschreiben. Im Rahmen seiner Untersuchungen hat Männel [75] einen umfangreichen Katalog von qualitativen Bestimmungsgrößen der Make-or-Buy Entscheidung aufgestellt, der verschiedene Kriteriengruppen oder -kategorien umfasst. Eine Differenzierung nach unterschiedlichen Make-or-Buy Objekten ist allerdings nicht vorgesehen.

Die Verfahren zur Bewertung der qualitativen Bestimmungsgrößen lehnen sich im Wesentlichen an der Vorgehensweise der Nutzwertanalyse an. Beispielhaft sei das Punktwertverfahren genannt, das diese Vorgehensweise zur Bewertung unterstützt. Beim Punktwertverfahren wird der Erfüllungsgrad von Make-or-Buy relevanten Bewertungskriterien über Punktwerte ausgedrückt. Durch eine Gewichtung der Bewertungskriterien können die ermittelten Punktwerte miteinander verglichen werden. Als Ergebnis liefert diese Methode eine Zahl, aus der sich die Vorteilhaftigkeit von Make oder Buy im Hinblick auf dieses eine Kriterium ableiten lässt.

1. Qualifikation/ Know-how	
	1.1. dokumentiertes Wissen/Know-how
	1.2. interne Qualifikation
	1.3. externe Qualifikation
2. Strategische Wirkung	
	2.1. strategische Bedeutung der Technologie
	2.2. Know-how Abfluss
	2.3. Abhängigkeit
3. Wirtschaftlichkeit	
	3.1. Kosten
	3.2. Zeit
	3.3. Verfügbarkeit interner Ressourcen
	3.4. Verfügbarkeit externer Ressourcen
Mittelwert (aus 1, 2 und 3):	

Bild 26: Kriterienkataloge zur mehrdimensionalen Alternativenbewertung

Die Problematik bei der Anwendung von Kriterienkatalogen besteht darin, dass die Entscheidungskriterien häufig nur übergeordnete Unternehmensziele repräsentieren, wohingegen eine Bewertung der Entscheidungsalternativen im Hinblick auf die Auswirkungen auf die Prozessebene vielfach nicht erfolgt. Insbesondere werden die Prozessverantwortlichen häufig nicht in den Entscheidungsprozess mit eingebunden. Darüber hinaus gehen durch die Aggregation ordinaler Punktwerte zu einem Gesamtwert nicht nur wichtige Einzelinformationen verloren, sondern das Ergebnis ist auch nicht mehr interpretierbar. Deshalb sollte darauf verzichtet und eine Beurteilung anhand des gesamten Zielvektors vorgenommen werden [112].

3.1.3 Defizite in der bisherigen Vorgehensweise im Rahmen des Make-or-Buy Managements

Ausgehend von den soeben vorgestellten Aufgaben und Instrumenten des Make-or-Buy Managements lassen sich zusammenfassend gleich mehrere Defizite hinsichtlich der bisherigen Vorgehensweise ableiten. Dabei kann grundsätzlich zwischen allgemeinen und speziellen Defiziten, die aus den spezifischen Randbedingungen der Elektronikproduktion im Maschinenbau resultieren, unterschieden werden. Im Folgenden sollen zunächst die allgemeinen Defizite näher erläutert werden.

Im Rahmen von Forschungsprojekten wurden bereits verschiedene Bewertungssystematiken zur Unterstützung von Make-or-Buy Entscheidungen entwickelt [2, 26, 49, 60, 62, 78]. Die Lösungen beschränken sich jedoch fast ausschließlich auf den Fertigungsbereich sowie Instandhaltungs- und Logistikleistungen. In den für diese Anwendungsfälle entwickelten Kriterienkatalogen ist keine Differenzierung der Kriterien nach unterschiedlichen Make-or-Buy Objekten vorgesehen. Dies hat zur Folge, dass der Datenbeschaffungsaufwand nicht in Abhängigkeit von der Entscheidungssituation eingeschränkt werden kann. Die Möglichkeit einer Differenzierung nach unterschiedlichen Make-or-Buy Objekten würde dazu beitragen, den Datenbeschaffungsaufwand bereits im Vorfeld zu reduzieren und so die Entscheidungsdauer maßgeblich zu verkürzen. Zusätzlich bleibt die Frage der Operationalisierbarkeit der Kriterien vielfach ungelöst.

Darüber hinaus können mit den Instrumenten des bisherigen Make-or-Buy Managements die Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien auf die Prozessebene nicht transparent gemacht werden. Vielmehr steht bei den eingesetzten Instrumenten der Aspekt der Produktorientierung stark im Vordergrund, die Bedeutung des Denkens in Wertketten wird ignoriert. Dadurch bleiben häufig wertvolle Impulse, die auf Rationalisierungspotenziale in den Make- bzw. Buy-Prozessketten in den Unternehmen hinweisen, ungenutzt. Eine vollständige Beurteilung der Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien auf die Kostenstrukturen in den direkten und indirekten Bereichen scheitert am fehlenden Modellierungsansatz, der sowohl die Fertigungsprozesse als auch die fertigungsunterstützenden Prozesse erfasst. Dies führt in der Regel zu unvollständigen Kostenvergleichen und zu einer mangelnden Entscheidungstransparenz.

Zusätzlich bleiben im Rahmen des bisherigen Make-or-Buy Managements die Möglichkeiten der Rechnerunterstützung zur fundierten Entscheidungsunterstützung vielfach ungenutzt. Dies äußert sich in einer unzureichenden Einbindung bestehender Informationssysteme bei der Datenakquisition sowie in einer mangelnden Ergebnisdarstellung und Dokumentation bereits getroffener Make-or-Buy Entscheidungen.

Neben den allgemeinen Defiziten, die sich aus der Vorgehensweise im Rahmen des bisherigen Make-or-Buy Managements ableiten lassen, gibt es aus Sicht der Elektronikproduktion im Maschinenbau spezielle Defizite, die bei Make-or-Buy Entscheidungen zu berücksichtigen sind.

Derzeit werden in den Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus Make-or-Buy Entscheidungen häufig isoliert getroffen. Dies geschieht häufig in den Einkaufsabteilungen des Maschinen- und Gerätebaus, induziert durch Angebote von externen Elektronik-Lieferanten. Die Entscheidung erfolgt auf der Basis eines Vergleichs des durch den Elektronik-Inhousefertiger dem vorgelagerten Maschinenbau in Rechnung gestellten Transferpreises mit den externen Beschaffungskosten. Die einseitige Kostenorientierung birgt jedoch die Gefahr des Cherry Picking durch externe Elektronik-Lieferanten mit sich. Dieser Zusammenhang soll im Folgenden am Beispiel der Baugruppenfertigung mit Hilfe eines Produktportfolios näher erläutert werden (Bild 27).

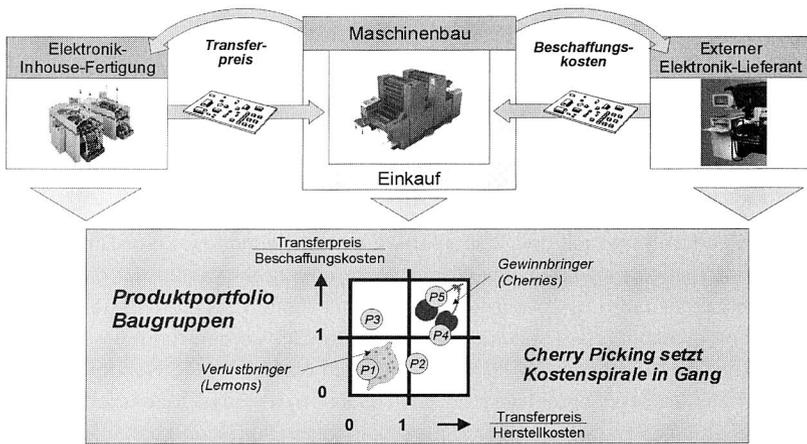


Bild 27: Cherry Picking als spezifisches Problem der Elektronikproduktion im Maschinenbau

Optimierungskriterium für ein ausgewogenes Produktportfolio aus Sicht der Elektronik-Inhousefertiger ist das Verhältnis von Transferpreis zu Herstellkosten, aus Sicht der externen Elektronik-Lieferanten das Verhältnis von Transferpreis zu Beschaffungskosten. Entsprechend lässt sich die Position der produzierten Baugruppen innerhalb des Produktportfolios festlegen. Während die Produkte im ersten Quadranten sowohl aus Sicht der Elektronik-Inhousefertiger als auch aus Sicht der externen Elektronik-Lieferanten Gewinnbringer (Cherries) darstellen, handelt es sich bei den Baugruppen im dritten Quadranten um Verlustbringer (Lemons). Die einseitige Kostenorientierung des Einkaufs kann dazu führen, dass die Elektronik-Inhousefertiger

attraktive Baugruppen an externe Elektronik-Lieferanten verlieren und auf den Verlustbringern sitzen bleiben. Dies führt dazu, dass sich die Kostensituation für die Elektronik-Inhousefertiger maßgeblich verschlechtert. Zusätzlich wird eine Kostenspirale in Gang gesetzt, die mittel- bis langfristig die Wettbewerbsfähigkeit der Elektronik-Inhousefertiger gefährdet [32].

Aufbauend auf den allgemeinen und spezifischen Problemen, die mit der Vorgehensweise im Rahmen des bisherigen Make-or-Buy Managements verbunden sind, sollen im Folgenden die Anforderungen an eine Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinenbau festgelegt werden.

3.2 Entwurf einer Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

3.2.1 Ermittlung der Anforderungen an die Bewertungssystematik

Ausgehend von den in Kapitel 3.1.3 festgestellten allgemeinen und speziellen Defiziten in der Vorgehensweise des bisherigen Make-or-Buy Managements sollen im Folgenden die Anforderungen an die Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinenbau ermittelt werden.

Als Grundlage für die zu entwickelnde Bewertungssystematik Make-or-Buy sollen Kriterienkataloge aufgestellt werden, die eine Bewertung unterschiedlicher Make-or-Buy Objekte nach unterschiedlichen Kriterienkategorien unterstützen. Die Kriterienkataloge sollen so strukturiert sein, dass in Abhängigkeit von den Kriterienkategorien eine schnelle Einschränkung der Kriterien auf wenige entscheidungsrelevante Kriterien möglich wird. Die Wahl der Kriterienkategorien erfolgt entsprechend den spezifischen Randbedingungen der Elektronikproduktion im Maschinenbau.

Aus dem Blickwinkel der Elektronikproduktion hat die Kriterienkategorie Produktlebenszyklusphasen eine besondere Bedeutung. Gerade beim Übergang von der Entwicklungs- zur Fertigungsphase oder von der Fertigungs- zur Nachversorgungsphase stellt sich die Frage Make-or-Buy häufig neu. Dies lässt sich beispielsweise auf eine geänderte Einstellung hinsichtlich der im Unternehmen verfügbaren Aufbau- und Verbindungstechnik oder auf eine Veränderung des Mengengerüsts der zu produzierenden elektronischen Baugruppen zurückführen.

Im Hinblick auf die Entwicklungsphase resultieren spezielle Anforderungen an die Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinenbau daraus, dass angesichts der zunehmenden Mechatronisierung von Produkten viele Unternehmen über den Aufbau einer eigenen Elektronikproduktion nachdenken. Darüber hinaus wird mit dem zunehmenden Einsatz von mechatronischen Systemen im

Maschinenbau neben der Elektronikentwicklung auch die Softwareentwicklung zum Gegenstand von Make-or-Buy Überlegungen.

Weitere spezielle Anforderungen an die Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinenbau lassen sich für die Nachversorgungsphase ableiten. Diese resultieren aus der raschen technologischen Entwicklung von Bauelementeformen und dem damit verbundenen Problem der Abkündigung von Funktionsbausteinen in THD-Bauform durch die Bauelementehersteller. Die Abkündigung von Funktionsbausteinen ist insbesondere für die Elektronikproduktion im Maschinenbau charakteristisch, da es sich bei Maschinenbauprodukten meist um langlebige Investitionsgüter handelt.

Eine weitere wesentliche Anforderung liegt darin, dass bereits beim Aufstellen der Kriterienkataloge jedem Kriterium eine Datenquelle zugeordnet werden. Die Datenquelle soll Hinweise für messbare bzw. erfassbare Daten zur Bestimmung des Erfüllungsgrades des Kriteriums liefern und so eine Bewertung der Make-or-Buy Objekte im Hinblick auf deren Eigenentwicklungs- bzw. Eigenfertigungsfähigkeit ermöglichen. Dadurch wird eine rasche Operationalisierbarkeit der Kriterien im Make-or-Buy Entscheidungsfall sichergestellt. Dies erhöht die Reaktionsfähigkeit auf technologische und kapazitive Veränderungen. Beim Aufstellen der Kriterienkataloge sollen alle von Make-or-Buy Entscheidungen betroffenen Unternehmensbereiche eingebunden werden. Die Verantwortung für die Durchführung der Make-or-Buy Entscheidung wird an ein Entscheidungsteam übertragen. Dies trägt dazu bei, die Akzeptanz von Make-or-Buy Entscheidungen zu erhöhen.

Im Gegensatz zu den bestehenden Bewertungssystematiken Make-or-Buy, die durch eine starke Produktorientierung geprägt sind, sollen mit Hilfe der zu entwickelnden Bewertungssystematik für die Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau auch die Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Prozessebene transparent gemacht werden können. Dies bedeutet, dass nicht nur die konkreten Make-or-Buy Objekte, sondern dass auch die aus den alternativen Make-or-Buy Strategien resultierenden Produktionsprogramme zum Gegenstand von Make-or-Buy Überlegungen werden. Dabei gilt es nicht nur die zeit- und kostenbezogenen Auswirkungen auf die Fertigungsprozesse, sondern auch die Auswirkungen auf die fertigungsunterstützenden Prozesse zu ermitteln und zu berücksichtigen.

Die Vielzahl an zu berücksichtigenden Entscheidungskriterien erfordert eine algorithmische Vorgehensweise, um zu reproduzierbaren und tatsächlich vergleichbaren Ergebnissen zu kommen. Um eine systematische Vorgehensweise bei Make-or-Buy Entscheidungen in der Elektronikproduktion im Maschinenbau zu unterstützen sowie einmal getroffene Make-or-Buy Entscheidungen mit den zugehörigen Randbedingungen auch zu einem späteren Zeitpunkt noch nachvollziehbar zu machen, ist eine

geeignete Softwareunterstützung erforderlich. Die bisher entwickelten Ansätze zur Unterstützung von Make-or-Buy Entscheidungen unterstreichen die Notwendigkeit einer Softwareunterstützung. Diese beschränkt sich jedoch meist auf die rechnergestützte Bewertung der Entscheidungskriterien beispielsweise nach dem Punktwertverfahren. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Softwareunterstützung soll den automatisierten Zugriff auf Daten in den bestehenden Informationssystemen sowie die Akquisition von Daten aus der Prozessebene unterstützen.

Bei der Ergebnisdarstellung soll auf eine starke Aggregation der Daten verzichtet werden, um die Entscheidungstransparenz zu erhöhen. Die Möglichkeit zur Dokumentation und Archivierung der Bewertungsergebnisse soll die Möglichkeit einer fortlaufenden Kontrolle von Veränderungen im Bereich der den Make-or-Buy Entscheidungen zu Grunde gelegten Kriterien gewährleisten.

Im Folgenden soll aufbauend auf den soeben aufgestellten Anforderungen eine Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau entwickelt werden. Die Bewertungssystematik stellt die Grundlage für das in Kapitel 3.5 entwickelte Modul zum Make-or-Buy Management in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau dar.

3.2.2 Definition von Make-or-Buy Objekten

Unter Make-or-Buy Objekte können all jene Produkte bzw. Prozesse verstanden werden, die Gegenstand von Make-or-Buy Überlegungen sind. Aus Sicht der Unternehmen gibt es jedoch Produkte bzw. Prozesse, für die beispielsweise aus technologischen Gründen eine Eigenherstellung bzw. ein Fremdbezug ausscheidet. Man spricht in diesem Fall von sicherem Fremdbezug bzw. sicherer Eigenleistung [52].

Vor dem Hintergrund des zunehmenden Trends im Maschinenbau hin zu mechatronischen Systemen lassen sich, wie in Bild 28 dargestellt, die Make-or-Buy Objekte Teile und Komponenten, Baugruppen sowie Gesamtsystem, bestehend aus Elektrik, Elektronik und Software, unterscheiden. Diese Differenzierung ist vor allem deshalb erforderlich, weil sowohl die Komplexität der zu treffenden Make-or-Buy Entscheidung als auch die Art und Anzahl der zu berücksichtigenden Entscheidungskriterien von dem zu betrachtenden Make-or-Buy Objekt abhängen [32].

Wesentliche Teile und Komponenten im Rahmen der Elektronikproduktion sind die verarbeiteten aktiven und passiven Bauelemente sowie die Schaltungsträger. Während früher sehr viele, auch kleinere Unternehmen über den Aufbau einer eigenen Leiterplattenproduktion zumindest nachgedacht haben, sind heute elektronische Schaltungsträger insbesondere für Elektronikfertiger im Umfeld des Maschinenbaus zu einer sicheren Fremdbezugsleistung geworden. Die Frage Make-or-Buy bezogen

auf Teile und Komponenten ist somit aus dem Blickwinkel der Elektronikproduktion im Maschinenbau wenig strategie- und differenzierungsrelevant.

Ganz anders verhält es sich bei Systemen und Baugruppen. Wie bereits in Kapitel 2.1 erläutert, ist die Frage Make-or-Buy von Systemen und Baugruppen aus Sicht der Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus stark strategie- und differenzierungsrelevant. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund des zunehmenden Trends hin zu dezentralen, integrierten Baugruppen in Maschinenkomponenten [37]. Wesentliches Kennzeichen der dezentralen, integrierten Baugruppen ist beispielsweise die Integration der Elektronik in einem Gehäuse, das gleichzeitig den Schaltungsträger darstellt. Es ist offensichtlich, dass damit im Vergleich zu standardisierten elektronischen Baugruppen die Komplexität der Make-or-Buy Entscheidung ansteigt.

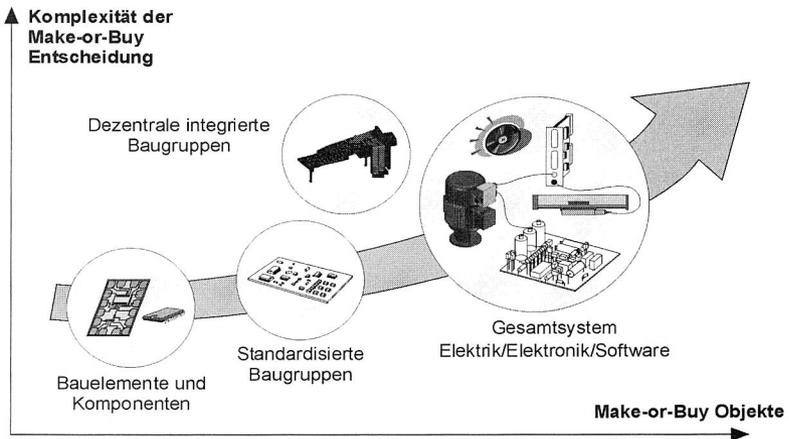


Bild 28: Make-or-Buy Objekte in der Elektronikproduktion im Maschinenbau

Wie bereits in Kapitel 2.1 dargestellt, gewinnt für Maschinenbauunternehmen neben dem Thema Entwicklung von Elektronikbaugruppen zunehmend das Thema Softwareentwicklung an Bedeutung. Grundsätzlich lässt sich zwischen der Entwicklung von hardwarenaher Software und der Entwicklung von applikationsspezifischer Software unterscheiden.

Besonders kritisch aus Sicht der Elektronikproduktion im Maschinenbau sind die engen Wechselwirkungen zwischen Elektronik- und Softwareentwicklung. Werden wichtige Funktionsbausteine abgekündigt, sehen sich die Elektronikfertiger zusätzlich zu dem Problem des erforderlichen Baugruppenredesigns auch mit dem Problem der durch die Hardwareänderung induzierten Softwareänderung konfrontiert. Vor diesem Hintergrund wird auch für Unternehmen, die bereits in frühen Jahren Kompetenzen

im Bereich Elektronikproduktion aufgebaut haben, verstärkt das Gesamtsystem aus Elektrik, Elektronik und Software von Neuem zum Gegenstand von Make-or-Buy Überlegungen. Aufgrund der besonders hohen Strategie- und Differenzierungsrelevanz steigt die Komplexität der Make-or-Buy Entscheidung des Make-or-Buy Objektes Gesamtsystem, bestehend aus Mechanik, Elektronik und Software, erheblich. Dies resultiert nicht zuletzt daraus, dass, selbst wenn aus Sicht der Maschinenbauunternehmen der Zukauf des Gesamtsystems geplant ist, dies umfassende Kompetenzen im Hinblick auf die Fähigkeit zur Spezifikation des Gesamtsystems voraussetzt.

3.2.3 Struktur der Bewertungssystematik Make-or-Buy

Ausgehend von den in Kapitel 3.2.1 aufgestellten Anforderungen an die Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinenbau wird im Folgenden die Struktur der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Bewertungssystematik Make-or-Buy vorgestellt. Durch den modularen Aufbau der Bewertungssystematik soll die Möglichkeit geschaffen werden, Make-or-Buy Entscheidungen sowohl aus Sicht der Elektronik-Entwicklung als auch aus Sicht der Elektronik-Fertigung zu unterstützen. Die Bewertungssystematik umfasst alle für Make-or-Buy Entscheidungen relevanten Einflussbereiche und ist darauf ausgerichtet, Make-or-Buy Entscheidungen sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Entscheidungsebene zu unterstützen. Dies setzt die Einbindung aller Unternehmensbereiche entlang des gesamten Workflows voraus.

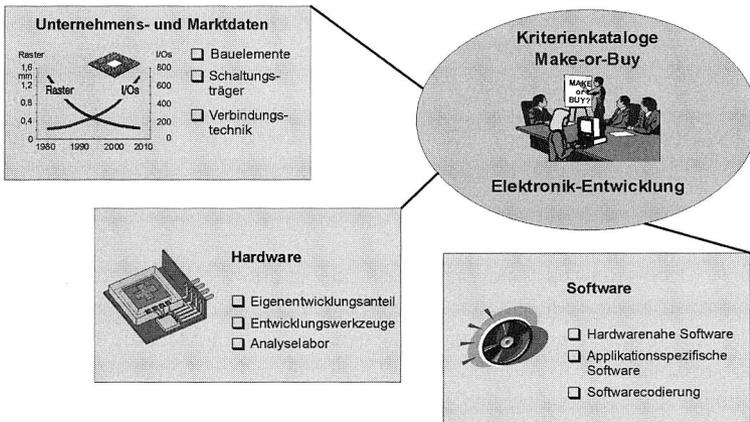


Bild 29: Bausteine der Bewertungssystematik für die Frage Entwicklung von Elektronik/Software

Die Bewertungssystematik für die Frage Entwicklung von Elektronik/Software setzt sich aus den drei Bausteinen Markt- und Unternehmensdaten, Hardware und Software zusammen. Der grundsätzliche Aufbau ist in Bild 29 dargestellt. So können beispielsweise in den Entwicklungsabteilungen durch die parallele Analyse der Bausteine Markt- und Unternehmensdaten sowie Hardware frühzeitig Substitutionsmöglichkeiten durch neue Verfahrenstechnologien, z.B. flexible Schaltungsträger anstelle von starren Leiterplatten, oder bereits stattfindende Substitutionsprozesse, z.B. MIDs anstelle von standardisierten Baugruppen, erkannt werden.

Die Bewertungssystematik für die Frage Fertigung von Elektroniken setzt sich aus den vier Bausteinen Markt- und Unternehmensdaten, Produktspektrum, Fertigungsprozesse und fertigungsunterstützende Prozesse zusammen. Die Struktur ist in Bild 30 dargestellt.

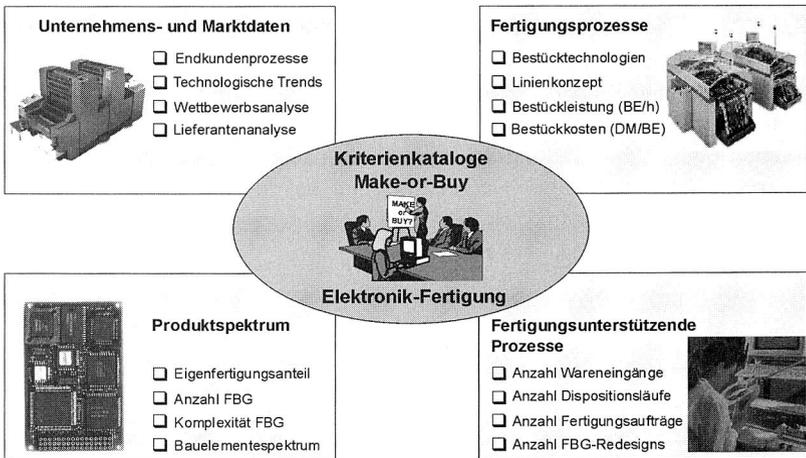


Bild 30: Bausteine der Bewertungssystematik für die Frage Fertigung von Elektroniken

Relevante Unternehmens- und Marktdaten aus Sicht der Elektronikproduktion im Maschinenbau stellen bei Make-or-Buy Entscheidungen vor allem Fragen der Entwicklung der Endkundenprozesse (z.B. digitale Druckprozesse), technologische Trends hinsichtlich der Entwicklung von Bauelemente- und Schaltungsträgertechnologien sowie die Entwicklung des Leistungspotenzials und der Preisgestaltung der externen Bestückungsdienstleister dar. Im Baustein Produktspektrum werden insbesondere Fragen der Entwicklung des Eigenfertigungsanteils elektronischer Baugruppen oder die Anzahl der aktiven und passiven Baugruppen analysiert. Um die Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen sowohl auf die Fertigungsprozesse als auch auf die fertigungsunterstützenden Prozesse im Unternehmen zu bestimmen,

wird beispielsweise die Entwicklung der Bestückkosten in Abhängigkeit von den eingesetzten Bestücktechnologien oder dem verfolgten Linienkonzept untersucht. Die Unterscheidung in Fertigungsprozesse und fertigungsunterstützende Prozesse unterstreicht die Notwendigkeit, neben dem Fertigungsbereich auch die bislang stark vernachlässigten Gemeinkostenbereiche mit in die Make-or-Buy Analyse einzubeziehen.

3.3 Aufstellen von Kriterienkatalogen zur Beurteilung der Eigenentwicklungs- und Eigenfertigungsfähigkeit

Auf Grundlage der soeben vorgestellten Bausteine der entwickelten Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinenbau werden im Folgenden die Kriterienkataloge zur Beurteilung der Eigenentwicklungs- und Eigenfertigungsfähigkeit von Make-or-Buy Objekten abgeleitet. Die Kriterienkataloge bilden die Basis der entwickelten Bewertungssystematik. Bei der Formulierung der Kriterien wurde besonderer Wert auf die Operationalisierbarkeit, Reproduzierbarkeit, Redundanzfreiheit und Vollständigkeit der Kriterien gelegt.

Um eine differenzierte Bewertung der Make-or-Buy Objekte durchführen zu können, wurden die Kriterienkataloge nach unterschiedlichen Kriterienklassen strukturiert. In Bild 31 sind die beim Aufbau der Kriterienkataloge verwendeten Kriterienklassen in einem morphologischen Kasten dargestellt. Unterstützt durch diese Vorgehensweise lässt sich situationsabhängig die Zahl der Kriterien im Make-or-Buy Entscheidungsfall schnell einschränken, wodurch der Datenbeschaffungsaufwand reduziert und die Entscheidungsdauer verringert werden können. Im Folgenden sollen die verwendeten Kriterienklassen kurz erläutert werden:

Eine zentrale Kriterienklasse beim Aufbau der Kriterienkataloge stellen die in Kapitel 3.2.2 vorgestellten Arten von Make-or-Buy Objekten dar. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Anzahl der zu berücksichtigenden Kriterien maßgeblich von der Art und Komplexität des betrachteten Make-or-Buy Objektes abhängig ist. Die aufgestellten Kriterienkataloge sehen die Möglichkeit vor, die Kriterien nach deren Bedeutung für die Beurteilung der Make-or-Buy Objekte Gesamtsystem, bestehend aus Elektrik, Elektronik und Software, elektronische Baugruppe sowie Software zu differenzieren.

Eine weitere wichtige Kriterienklasse ist die Differenzierung nach den unterschiedlichen Lebenszyklusphasen. Im Gegensatz zu den bisherigen Kriterienkatalogen, die mit dem Fokus auf die Fertigungsphase konzipiert sind, ist bei den im Rahmen dieser Arbeit aufgestellten Kriterienkatalogen mit Blick auf die spezifischen Randbedingungen der Elektronikproduktion im Maschinenbau eine Differenzierung der Kriterien nach der Entwicklungs-, Fertigungs- und Nachversorgungsphase vorgesehen.

Merkmal	Merkmalsausprägung			
Anwendungsbereich	Entwicklung Elektronik/Software		Fertigung Elektroniken	
Bausteinefertigung	Markt- und Unternehmensdaten	Produktspektrum	Fertigungsprozesse	Fertigungsunterstützende Prozesse
Bausteineentwicklung	Markt- und Unternehmensdaten	Hardware		Software
Kriterienkategorien	Ressourcen	Kosten	Technologie	Fähigkeiten
Zeithorizont	Langfristig		Kurz-/Mittelfristig	
Lebenszyklusphase	Entwicklungsphase		Fertigungsphase	Nachversorgungsphase
MoB - Objekte	Gesamtsystem		Elektronische Baugruppe	Software
Kriterienart	Quantitativ		Qualitativ	
Datenherkunft	Statisch		Dynamisch	

Bild 31: Darstellung der Kriterienklassen in einem morphologischen Kasten

Darüber hinaus lassen sich die Kriterien weiter strukturieren im Hinblick auf den Zeithorizont der zu treffenden Make-or-Buy Entscheidung. Während im Rahmen kurzfristiger Entscheidungen häufig die Frage der Kapazitätsauslastung im Vordergrund steht, stehen bei langfristigen Entscheidungen technologische Überlegungen und die gesamtunternehmerische Bedeutung einer Make-or-Buy Entscheidung im Vordergrund.

Hinsichtlich der Kriterienart lässt sich grundsätzlich zwischen quantitativen Kriterien, wie z.B. Herstellkosten oder Qualität der Inhouse-Fertigung, und qualitativen Kriterien, wie z.B. das Vorhandensein des prozesstechnischen Know-hows zur Beherrschung neuer Bestücktechnologien, unterscheiden. Für die beiden Bausteine Fertigungsprozesse und fertigungsunterstützende Prozesse lassen sich die quantitativen Kriterien weiter nach der Kriterienklasse Datenherkunft unterteilen. Diese Kriterienklasse zeigt an, ob die Daten zu einem bestimmten Kriterium vergangenheitsbezogen beispielsweise aus betrieblichen Informationssystemen abgeleitet oder zukunftsgerichtet durch eine Simulation ermittelt werden.

Zusätzlich wurden zur weiteren Gruppierung der Kriterien die Kategorien Ressourcen, Kosten, Technologie und Fähigkeiten eingeführt. Im Folgenden soll der Aufbau der Kriterienkataloge zur Beurteilung der Eigenentwicklungs- und Eigenfertigungsfähigkeit exemplarisch an Hand von Beispielen vorgestellt werden.

3.3.1 Kriterienkataloge zur Beurteilung der Eigenentwicklungsfähigkeit

In Bild 32 ist auszugsweise die Liste der quantitativen Kriterien des Kriterienkataloges für den Baustein Entwicklung von Elektronik/Software dargestellt. Die Kriterien sind nach den soeben vorgestellten Kriterienklassen strukturiert.

Baustein Software		Qualitative Kriterien												
		Know-how					Effizienz							
Zeithorizont der zu treffenden Make-or-Buy Entscheidung: ● langfristig ○ kurz-/ mittelfristig		Technologie-Know-how vorhanden (HW-, SW-/Wissen)	Investitionsrisiko in erforderliche Technologie bzw. Ressourcen	Produktattraktivität (funktionalität, Plattformen)					Reaktionsfähigkeit, z.B. SW-Qualitätsprobleme	Produktattraktivität (Nachfrageaufträge)				
Lebenszyklusphase	Make-or-Buy Objekt													
Entwicklungsphase (Neuentwicklung)	System	●○	●	●○					●○	●○				
	Software	●○	●	●○					●○	●○				
Fertigungs- und Nachversorgungsphase (Redesign)	System	●○	●	●○					●○	●○				
	Software	●○	●	●○					●○	●○				

Bild 32: Aufbau der Kriterienkataloge am Beispiel Entwicklung von Elektronik/Software

3.3.2 Kriterienkataloge zur Beurteilung der Eigenfertigungsfähigkeit

In Bild 33 ist auszugsweise die Liste der quantitativen Kriterien des Kriterienkataloges für den Baustein Fertigung von Elektronik/Software dargestellt. Die Kriterien sind ebenfalls nach den soeben vorgestellten Kriterienklassen strukturiert.

Baustein Fertigungsprozesse		Quantitative statische/dynamische Kriterien												
		Ressourcen					Kosten							
Zeithorizont der zu treffenden Make-or-Buy Entscheidung: ● langfristig ○ kurz-/ mittelfristig		Ressourcenverfügbarkeit (quantitativ + qualitativ)	Ressourcenauslastung (BM, MA)	Durchlaufzeit Prozessketten	Funktionsreife Fertigung	Durchlaufzeit Prozessketten Bestücken, Prüfen, Kompletieren	Fertigungszeitfall durch Rüsten (> preferred parts list)	Verfügbarkeit bei Störungen (Schmittstelle EP-MW)	Lieferfähigkeit (Menge, Qualität, Zeit)	Anpassungskosten Technologieeinführung (Initial, Struktur, MA)	Kosten für die Funktionsmusterfertigung	Kosten für Bestücken, Prüfen, Kompletieren (VK, TK)	Bestandsbindungskosten	Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses
Lebenszyklusphase	Make-or-Buy Objekt													
Entwicklungsphase	Hardware+Software	●○	●○	●○	●○	●○	●○		●○	●○	●○	●○	●○	
	Baugruppe	●○	●○	●○	●○	●○	●○		●○	●○	●○	●○	●○	
Fertigungsphase	Hardware+Software	●○	●○			●○	●○	●○			●○	●○	●○	
	Baugruppe	●○	●○			●○	●○	●○			●○	●○	●○	
Nachversorgungsphase	Hardware+Software	●○				●○	●○	●○			●○	●○	●○	
	Baugruppe	●○				●○	●○	●○			●○	●○	●○	

Bild 33: Aufbau der Kriterienkataloge am Beispiel Fertigung von Elektroniken

3.4 Entwicklung von Ansätzen zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

Wie bereits in Kapitel 3.1.3 erläutert, sehen die bisher entwickelten Entscheidungshilfen Make-or-Buy zwar umfassende Kriterienkataloge vor, die Frage der Operationalisierbarkeit der Kriterien bleibt jedoch vielfach ungelöst.

Deshalb sollen im Folgenden mehrere Ansätze zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten in der Elektronikproduktion im Maschinenbau entwickelt bzw. bereits bestehende Ansätze im Hinblick auf ihre Übertragbarkeit analysiert werden. Die Ansätze sollen messbare bzw. erfassbare Daten zur Bestimmung der Erfüllungsgrade der Kriterien liefern und so eine Bewertung der identifizierten Make-or-Buy Objekte im Hinblick auf deren Eigenentwicklungs- bzw. Eigenfertigungsfähigkeit unterstützen.

In Anlehnung an die Bausteine der entwickelten Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinenbau wurde eine Unterscheidung in markt-, produkt- und prozessorientierte Ansätze vorgenommen (Bild 34). Mit Blick auf die unmittelbare Anwendbarkeit der Ansätze in der betrieblichen Praxis wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass nach Möglichkeit bereits bestehende Datenquellen genutzt und nicht eine Fülle an neuen Daten erzeugt werden muss.

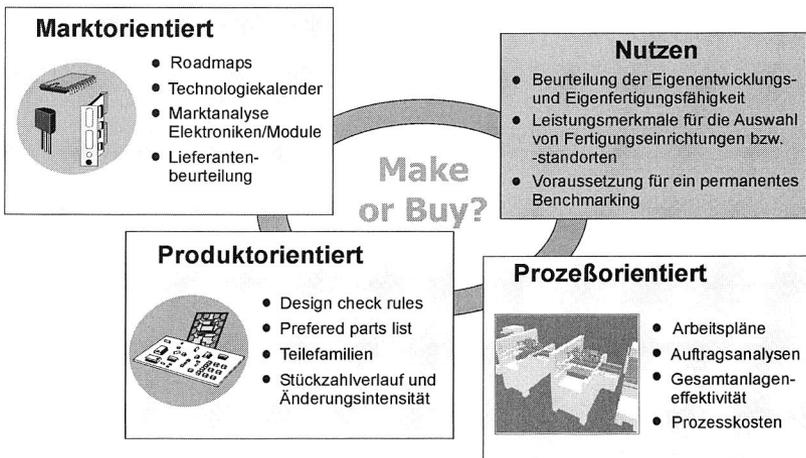


Bild 34: Ansätze zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten in der Elektronikproduktion

Mit dem Einsatz der Ansätze zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten sind gleichzeitig mehrere Nutzeneffekte verknüpft: Über die Beurteilung der Eigenentwicklungs- und Eigenfertigungsfähigkeit hinaus lassen sich auf Grundlage der erzielten Daten Leistungsmerkmale für die Auswahl von Fertigungseinrichtungen bzw. -standorten

ableiten. Zusätzlich können die Daten für ein permanentes, inner- und überbetriebliches Benchmarking herangezogen werden.

Im Folgenden werden die entwickelten Ansätze zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau vorgestellt, die Ansatzpunkte für die Operationalisierung der Kriterien liefern.

3.4.1 Marktorientierte Ansätze

Einen marktorientierten Ansatz zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten stellt der Ansatz des Technologiekalenders dar. Ziel des Technologiekalenders ist es, die Entwicklung der Produktionstechnologie und die unternehmensrelevante Produktentwicklung in ihrer zeitlichen Entwicklung graphisch einander gegenüberzustellen [106]. Einbezogen in den Technologiekalender sind unternehmensspezifische Prämisse und Prognosen hinsichtlich zukünftiger Produkt- und Produktionsprogramme [113]. Über die Verwendung der Szenariotechnik kann beispielsweise eine Entscheidung über die Einsatzmöglichkeiten einer Technologieart gefällt werden, wobei sich die Betrachtung auf einmalige, strategische Entscheidungen konzentriert [13].

Übertragen auf die Elektronikproduktion basiert dieser Ansatz auf den Technologieroadmaps, die Prognosen für die charakteristischen Merkmale der in der Zukunft zur Anwendung kommenden Bauelemente, Schaltungsträger und Verbindungstechnik dokumentieren. Die Prognosen basieren auf Daten, die aus der Industrie und Wissenschaft zusammengetragen werden.

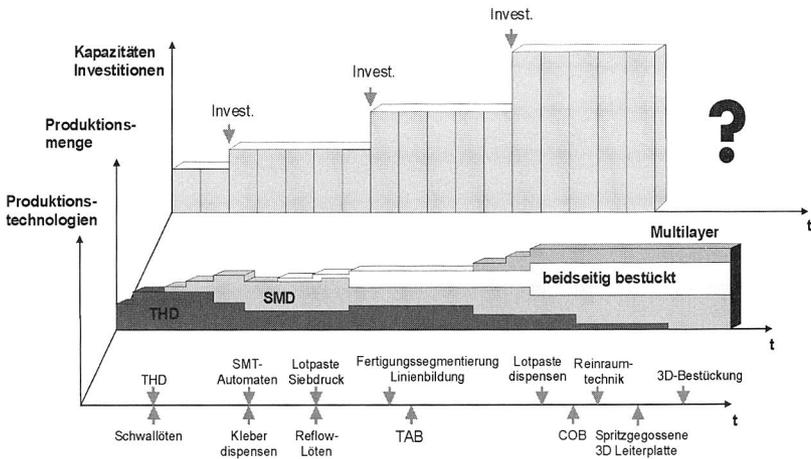


Bild 35: Technologiekalender

In Bild 35 ist exemplarisch ein Technologiekalender für die Elektronikproduktion skizziert. Der Technologiekalender setzt sich aus einer Darstellung der synchronisierten Entwicklung der Produktionstechnologie, der Produktionsmenge und der Kapazitäten bzw. Investitionen über die Zeit zusammen.

Die Herausforderung für die Elektronikbereiche beim Aufstellen eines Technologiekalenders besteht darin, aus Sicht der Endkundenprozesse des Maschinenbaus die wesentlichen technologischen Trends und Herausforderungen an Elektronikbaugruppen zu identifizieren und aufbauend auf einem Mengengerüst die resultierenden Anforderungen die erforderlichen Produktionskapazitäten und Investitionen in den Elektronikbereichen abzuleiten.

Der Technologiekalender liefert bei technologischen Überlegungen und bei der Beurteilung der gesamtunternehmerischen Bedeutung einer Make-or-Buy Entscheidung wertvolle Daten. So wäre es beispielsweise im Fall einer auslaufenden Verbindungstechnologie denkbar, die davon betroffenen elektronischen Baugruppen zukünftig fremdzubeziehen und die eigene Elektronikproduktion stattdessen auf die aufstrebenden Verbindungstechnologien auszurichten.

3.4.2 Produktorientierte Ansätze

Gegenstand der produktorientierten Ansätze zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten ist es, den Produktmix von Elektronikbaugruppen, Software und begleitenden Dienstleistungen optimal an die verfügbaren Entwicklungswerkzeuge und Fertigungseinrichtungen anzupassen.

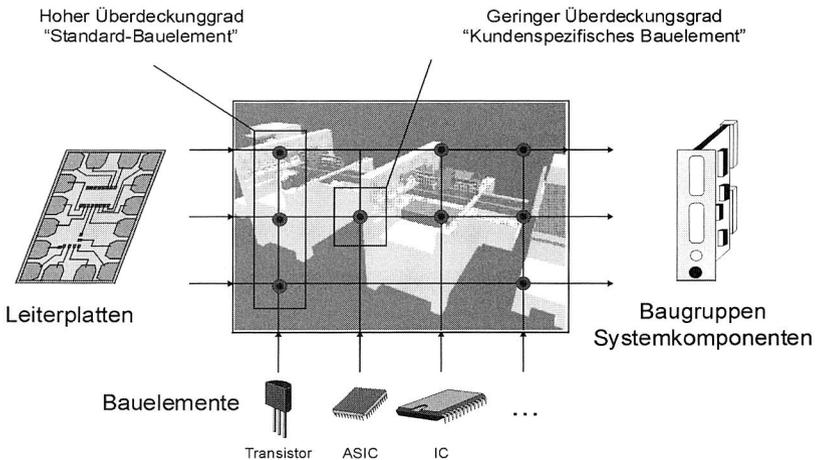


Bild 36: Ermittlung des Überdeckungsgrades an Bauelementen

Insbesondere bei Maschinenbauprodukten führt die zunehmende Substitution von mechanischen Funktionen durch Elektronik und Software zu einer erhöhten Varianz der elektronischen Baugruppen. Ein Ansatz, dem durch die erhöhte Variantenvielfalt bedingten Anstieg der betrieblichen Komplexität zu begegnen und die eigenen Fertigungskapazitäten optimal auszunutzen besteht darin, diejenigen elektronischen Baugruppen zu identifizieren, die eine geringe Überdeckung an Bauelementen mit dem übrigen Produktprogramm besitzen und somit die internen Produktionsabläufe stören (Bild 36). So entsteht beispielsweise bei einem geringeren Überdeckungsgrad an Bauelementen zusätzlicher Aufwand für die Disposition der Bauelemente, die Lagerhaltung, die Kommissionierung und das Rüsten der Bauelemente auf den Fertigungseinrichtungen. Die identifizierten elektronischen Baugruppen werden einer Make-or-Buy Analyse unterzogen und im Falle einer Buy-Entscheidung zu externen Bestückungsdienstleistern zu verlagern.

3.4.3 Prozessorientierte Ansätze

Übergeordnetes Ziel der prozessorientierten Ansätze zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten ist es, Daten zum Nachweis der Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien auf die Prozessebene bereitzustellen.

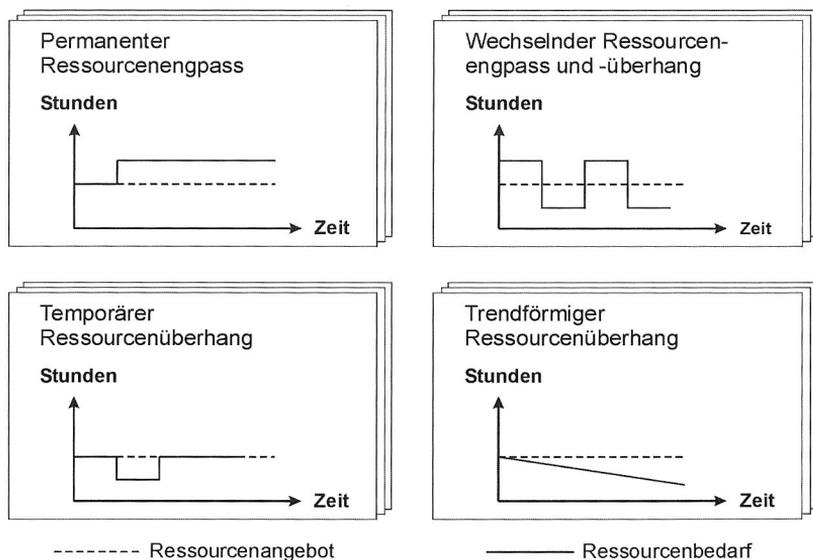


Bild 37: Verschiedene Formen von Kapazitätsengpässen und -überhängen in den direkten und indirekten Bereichen

Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass für eine fundierte Beantwortung von Kriterien, z.B. der Kapazitätsauslastung kompletter Linien oder einzelner Bestückerichtungen, eine zeitpunktbezogene Betrachtung nicht ausreicht. Bei ein und demselben Absolutwert kann man ohne Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Wie in Bild 37 veranschaulicht, liefert eine zeitraumbezogene Betrachtung deutlich mehr Informationen, was zu einer höheren Planungssicherheit und damit besseren Entscheidungsqualität beiträgt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein prozessorientierter Ansatz entwickelt, der sich im Wesentlichen auf das Werkzeug Simulation stützt mit dem Ziel, relevante Daten aus der Prozessebene abzugreifen. Grundlage für die Bewertung der Eigenfertigungs- und Fremdvergabealternativen ist der Prozessplan, der alle für die Produktion elektronischer Baugruppen erforderlichen Prozesse umfasst. Dieser prozessorientierte Ansatz, mit dem sich eine Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene herstellen lässt, wird ausführlich in Kapitel 4 beschrieben. Die kostenorientierte Bewertung des mengen- und zeitbezogenen Ressourceneinsatzes ist Gegenstand von Kapitel 5.

Das Wissen um die Verteilung der aufgetretenen Fehler bei den durchgeführten Prozessen stellt einen weiteren prozessorientierten Ansatz zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten dar (Bild 38). Dabei werden Baugruppen oder Prozesse mit einem hohen Fehleranteil nicht automatisch zu Fremdbezugsobjekten. Vielmehr liefert die Verteilung aufgetretener Fehler wichtige Hinweise für vorhandene, interne Rationalisierungspotenziale.

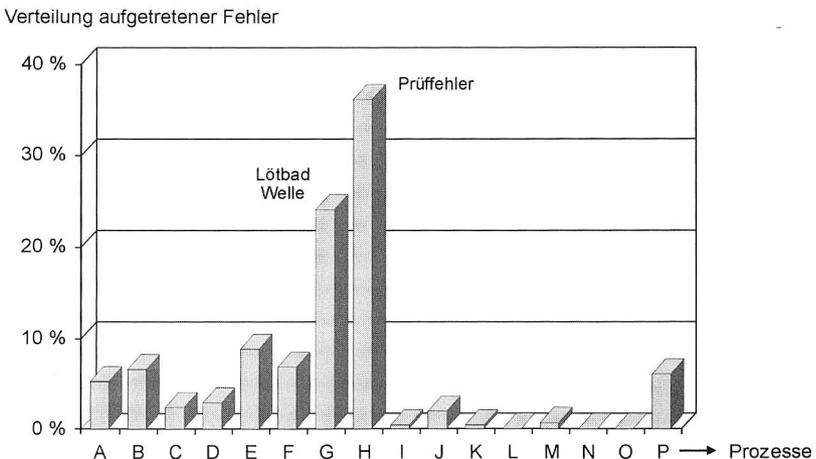


Bild 38: Verteilung aufgetretener Fehler auf die Prozesse am Beispiel einer elektronischen Baugruppe

3.5 Modul zum Make-or-Buy Management in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

Auf der Grundlage der soeben beschriebenen Struktur der Bewertungssystematik Make-or-Buy, den Kriterienkatalogen und den Ansätzen zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Modul zum Make-or-Buy Management in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau entwickelt. Nach einem Überblick über die grundsätzliche Vorgehensweise im Rahmen des entwickelten Moduls sollen die Unterlagen und Formulare zur Unterstützung des Make-or-Buy Managements in der betrieblichen Praxis vorgestellt werden. Die softwaretechnische Umsetzung des Moduls zum Make-or-Buy Managements ist Gegenstand von Kapitel 6.

3.5.1 Vorgehensweise im Rahmen des Make-or-Buy Managements

Die grundsätzliche Vorgehensweise im Rahmen des Make-or-Buy Managements ist in fünf Bewertungsstufen untergliedert und ist in Bild 39 dargestellt.

Grundlage der Stufe 1 sind Entscheidungsbäume, die für die Frage Entwicklung von Elektronik/Software bzw. Fertigung von Elektroniken erarbeitet wurden. In Bild 39 ist exemplarisch ein Auszug aus dem Entscheidungsbaum Fertigung von Elektroniken dargestellt. Der Entscheidungsbaum Fertigung von Elektroniken setzt sich aus aufeinanderfolgenden Entscheidungsrouten zusammen. Jeder Entscheidungsrouten können situationsabhängig Kriterien aus den Kriterienkatalogen zugeordnet werden.

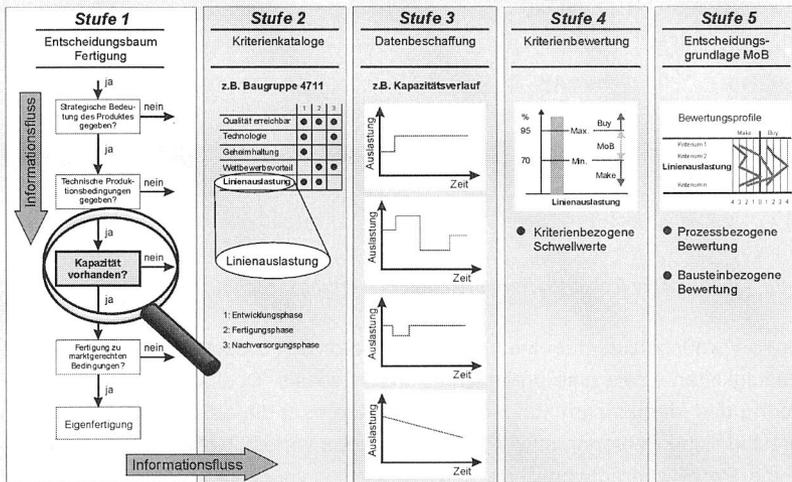


Bild 39: Vorgehensweise zur differenzierten Bewertung von Make-or-Buy Objekten

Das Ergebnis der Stufe 2 sind die entscheidungsrelevanten Kriterien, die zur Bewertung eines bestimmten Make-or-Buy Objektes herangezogen werden.

Gegenstand der Stufe 3 ist die Beschaffung der für die Operationalisierung der Kriterien erforderlichen Daten. Wie bereits in Kapitel 3.4 erläutert, werden zur Bewertung von Eigenfertigungs- und Fremdbezugsalternativen neben statischen Daten mit Hilfe des Werkzeuges Simulation auch dynamische Daten aus der Prozessebene abgegriffen.

In der Stufe 4 findet die Bewertung der qualitativen und quantitativen Kriterien statt. Die Normierung der Bewertungsergebnisse durch die Einführung von kriterienbezogenen Schwellwerten wird in Kapitel 3.5.2 noch näher erläutert.

Unter Berücksichtigung der Kriteriengewichtung erfolgt in Stufe 5 die Ergebnisdarstellung in Form von Bewertungsprofilen. Über die Bewertungsprofile werden die qualitativen und quantitativen Kriterien in eine Beziehung zueinander gesetzt, ohne die Aggregation auf einen Einzelwert vorzunehmen. Die Bewertungsprofile stellen somit die Grundlage für die zu treffende Make-or-Buy Entscheidung dar.

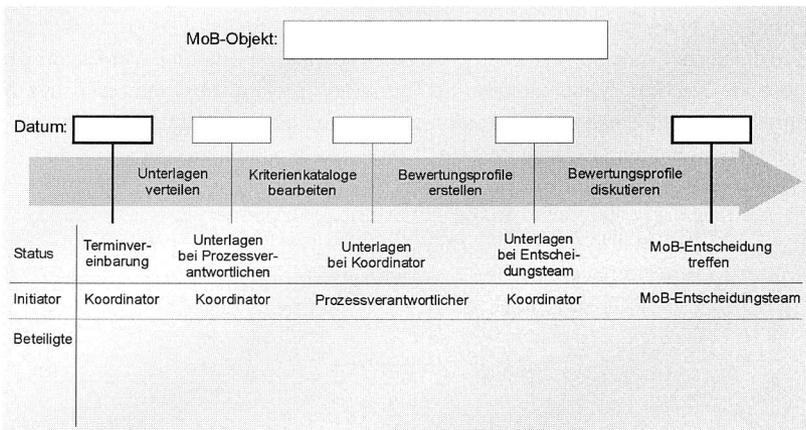


Bild 40: Make-or-Buy Beteiligte Personen und Bewertungszeitplan

Zentrale Voraussetzung für eine fundierte Make-or-Buy Entscheidung sind eindeutige Zuständigkeiten sowie eine breite Entscheidungsbasis. Deshalb werden bei der Anwendung des Moduls zum Make-or-Buy Management die anfallenden Aufgaben auf unterschiedliche Personen bzw. Personengruppen verteilt. Neben einem Koordinator sind die Prozessverantwortlichen und ein Entscheidungsteam, das sich aus Personen unterschiedlicher organisatorischer Einheiten zusammensetzt, in den Entscheidungsprozess eingebunden. Dadurch wird sichergestellt, dass in die Entsch-

dingsfindung zum einen vielfältige Interessenslagen und Gesichtspunkte eingehen. Zum anderen wird eine höhere Tragfähigkeit und breitere Abstützung von Make-or-Buy Entscheidungen im Unternehmen erreicht.

Bild 40 zeigt die Arbeitsschritte, die im Rahmen eines Bewertungsprozesses abgearbeitet werden müssen. Der Koordinator trägt die Verantwortung für den erfolgreichen Abschluss der Make-or-Buy Bewertung innerhalb des gesetzten zeitlichen Rahmens. Dazu stimmt der Koordinator mit den Prozessverantwortlichen einen Termin ab, bis zu dem die Ergebnisse der Kriterienbewertung bereitgestellt werden müssen. Das Entscheidungsteam trifft sich zu einem festgesetzten Zeitpunkt und trifft auf Grundlage der durch die Prozessverantwortlichen erstellten Bewertungsprofile eine Make-or-Buy Entscheidung.

3.5.2 Unterlagen und Formulare zur Unterstützung des Make-or-Buy Managements

Im Folgenden werden die wesentlichen Unterlagen und Formulare erläutert, die bei der Durchführung des Make-or-Buy Managements zum Einsatz kommen.

Wie bereits in Kapitel 3.3 erläutert, stellen Kriterienkataloge die Grundlage der entwickelten Bewertungssystematik Make-or-Buy dar. Die Kriterien werden anhand der in Kapitel 3.3 vorgestellten Kriterienklassen auf die entscheidungsrelevanten Kriterien verdichtet. Die resultierenden Kriterien lassen sich nach zwei unterschiedlichen Sichten strukturieren. Grundsätzlich kann zwischen einer prozessbezogenen und einer bausteinbezogenen Sichtweise unterschieden werden.

Durch die prozessbezogene Sichtweise werden Make-or-Buy Objekte aus Sicht der von Make-or-Buy Entscheidungen betroffenen Unternehmensbereiche bewertet. Die Unternehmensbereiche Entwicklung, Einkauf/Disposition, Kundenschnittstelle, Fertigung sowie Reklamation/technische Lieferantenbetreuung werden dabei durch die jeweiligen Prozessverantwortlichen vertreten. Damit wird sichergestellt, dass alle die von Make-or-Buy Entscheidungen betroffenen Unternehmensbereiche (Prozesse) in den Entscheidungsprozess eingebunden werden. Darüber hinaus werden mit Blick auf das Problem der Operationalisierung der Kriterien die Prozessverantwortlichen nur mit solchen Kriterien konfrontiert, die ihr fachliches Umfeld betreffen und die sie aufgrund ihrer Fachkompetenz zuverlässig beantworten können.

Mit der bausteinbezogenen Sichtweise wird die Zielsetzung verfolgt, dass sowohl unternehmensinterne als auch unternehmensexterne Einflussgrößen bei der Bewertung von Make-or-Buy Objekten Berücksichtigung finden. Entsprechend der in Kapitel 3.2.3 vorgestellten Bausteinstruktur der Bewertungssystematik Make-or-Buy kann zwischen einer marktorientierten, produktorientierten und prozessorientierten Sichtweise unterschieden werden.

Die Bewertung der Kriterien erfolgt in zwei Stufen, nämlich der Festlegung der Kriteriengewichtung und der Bestimmung des Erfüllungsgrades zu jedem Kriterium. Eine umfassende Bewertung erfordert die Einbindung aller relevanten Kriterien. Jedoch ist diese Relevanz nicht für alle Kriterien gleich groß. Das heißt, es werden Kriterien bewertet, die für das Unternehmen unterschiedliche Bedeutung haben. Innerhalb der Bewertungssystematik muss darum die Bedeutung der Kriterien durch Gewichtungsfaktoren berücksichtigt werden. Die prozessbezogene Gewichtung der Kriterien erfolgt durch die Prozessverantwortlichen nach Rücksprache mit den Prozessmitarbeitern und wird durch diese in den Kriterienkatalog eingetragen. Die bausteinbezogene Gewichtung der Kriterien ist das Ergebnis einer Teamentscheidung, wobei in jedem der drei bausteinbezogenen Teams jeder Prozess durch ein Mitglied vertreten ist.

In Bild 41 ist der Aufbau der verdichteten Kriterienkataloge am Beispiel des Bereichs Fertigung dargestellt. In dem Kriterienkatalog sind für jedes Kriterium die prozessbezogene bzw. bausteinbezogene Gewichtung, der Schwellwert im Fall eines quantitativen Kriteriums sowie die Datenquelle als Hinweis für die Operationalisierbarkeit des Kriteriums dokumentiert. In der Regel weicht die prozessbezogene Gewichtung von der bausteinbezogenen Gewichtung ab.

Fertigung	Prozessbezogene Gewichtung					Bausteinbezogene Gewichtung					Schwellwert		Datenquelle				
	Quant. Kriterien	-2	-1	0	+1	+2	K.O.	-2	-1	0	+1	+2		K.O.	Make	Buy	
Linienauslastung				X									X	< 85%	> 85%	SAP / R3	
Lieferfähigkeit						X							X	100%	100%	SAP / R3	
Anteil an festgerüsteten Bauelementen	X						X							100%	< 100%	AV	
...																	
Qual. Kriterien	-2	-1	0	+1	+2	K.O.	-2	-1	0	+1	+2	K.O.	Make	Buy			
Risiko durch Vorhalten von Lagerbeständen				X							X						Prozessverantwortlicher
Investitionsrisiko bei Kapazitätserweiterung		X									X						Marketing
Fertigungs-Know-How vorhanden?			X							X							Prozessverantwortlicher
Zeitlicher Rahmen für die Verlagerung vorhanden?						X							X				Prozessverantwortlicher
...																	

Bild 41: Kriterienkatalog am Beispiel des Bereichs Fertigung

Analog zur Kriteriengewichtung erfolgt die Kriterienbewertung ebenfalls sowohl aus Sicht der Prozesse als auch aus Sicht der Bausteine. Zur Unterstützung der Kriterienbewertung wurden spezielle Bewertungsformulare entworfen. Grundsätzlich enthält jedes Bewertungsformular ein Feld, wo der Betrachtungszeitraum, die Produktbezeichnung des Make-or-Buy Objektes, der Bearbeiter und das Datum angegeben werden müssen. Die prozess- bzw. bausteinbezogene Kriteriengewichtung wird aus den Kriterienkatalogen übernommen. Im Rahmen der Kriterienbewertung wird zu jedem in dem Kriterienkatalog festgelegten Kriterium der Erfüllungsgrad separat für den Make- und den Buy-Fall bestimmt und in das Bewertungsformular eingetragen. Während die einmal festgelegten Gewichtungsfaktoren zu den Kriterien gegebenenfalls beibehalten werden können, müssen die Erfüllungsgrade situationsabhängig immer neu bestimmt werden.

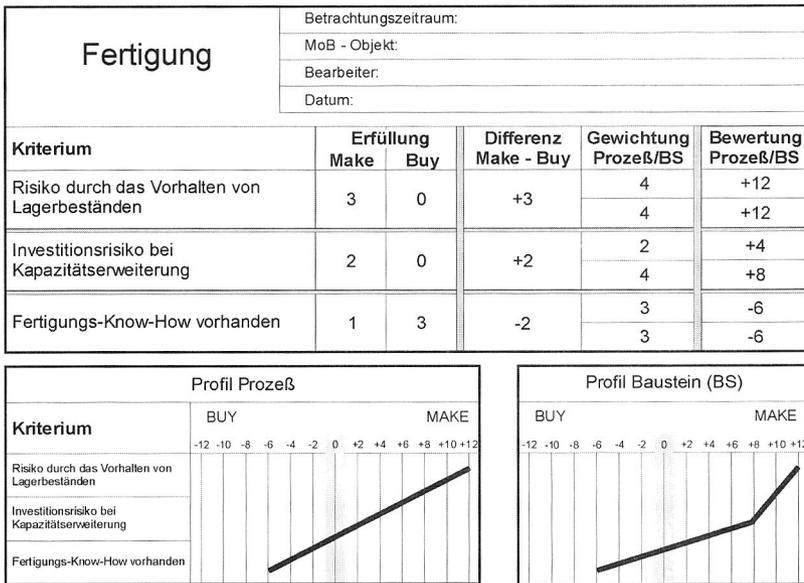


Bild 42: Bewertungsformular für qualitative Kriterien am Beispiel des Bereichs Fertigung

Die Bewertungsformulare für die qualitativen und quantitativen Kriterien weisen Unterschiede auf. Bei den qualitativen Kriterien wird analog zum Punktwertverfahren [75] über eine einfache Differenzbildung und Multiplikation die prozess- bzw. bausteinbezogene Bewertung ermittelt. Hieraus resultieren die gewichteten Punktwerte für die dazugehörigen Kriterien, die zugleich das Bewertungsergebnis des betreffenden Kriteriums darstellen. Im Gegensatz zu traditionellen Entscheidungshilfen

werden die gewichteten Punktwerte jedoch nicht zu einem Gesamtnutzwert hoch-aggregiert, sondern in Form von Bewertungsprofilen dargestellt (Bild 42). Hieraus resultiert für jeden Unternehmensbereich ein prozessbezogenes bzw. baustein-bezogenes Bewertungsprofil.

Die Bewertungsformulare für die quantitativen Kriterien weisen eine Besonderheit auf. Hier werden zu jedem Kriterium sogenannte Schwellwerte definiert. Die Schwellwerte kennzeichnen den Übergang von einer eindeutigen Make-Vorteilhaftigkeit bzw. einer eindeutigen Buy-Vorteilhaftigkeit zum Make-or-Buy Bereich (Bild 43). Der Vorteil der Festlegung von Schwellwerten besteht darin, dass das Ergebnis der quantitativen Bewertung ebenfalls in Form von Bewertungsprofilen ausgewiesen werden kann. Dadurch lässt sich einfacher eine unmittelbare Vergleichbarkeit von alternativen Make-or-Buy Strategien herstellen.

Die Ermittlung der Erfüllungsgrade der quantitativen Kriterien, z.B. der Linienauslastung im Make- bzw. Buy Entscheidungsfall, setzt eine Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene voraus. Auf die Möglichkeiten, Daten unmittelbar aus der Prozessebene abzugreifen, wurde bereits im Rahmen der prozessorientierten Ansätze zur Identifikation von Make-or-Buy Objekten in Kapitel 3.4.3 hingewiesen.

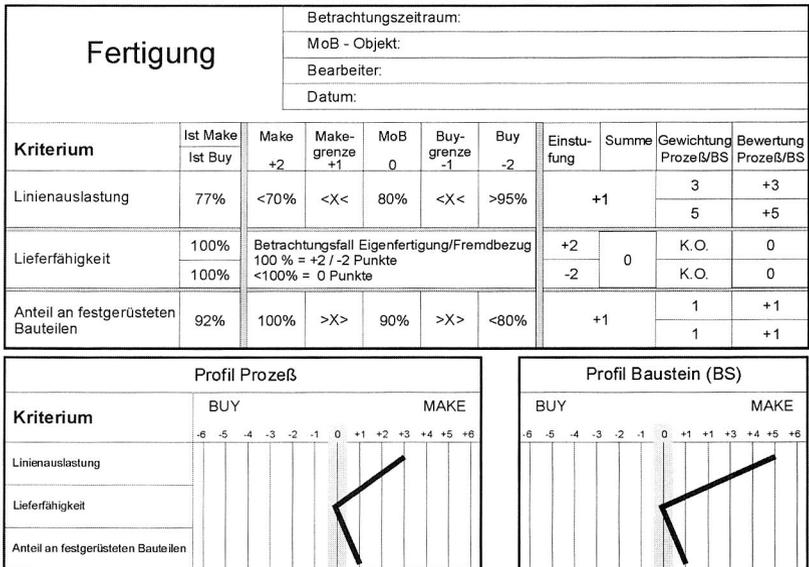


Bild 43: Bewertungsformular für quantitative Kriterien am Beispiel des Bereichs Fertigung

Vor dem Hintergrund der Forderung nach einer verbesserten Nachvollziehbarkeit von Make-or-Buy Entscheidungen sind wesentliche Anforderungen an die Ergebnisdarstellung zu stellen. Die Ergebnisdarstellung in Form von Bewertungsprofilen bietet dem Benutzer eine übersichtliche Gegenüberstellung der Bewertungsergebnisse für den Make- und Buy-Fall. Die Bewertungsprofile stellen für das Make-or-Buy Entscheidungsteam eine gute Diskussionsgrundlage dar und liefern Hinweise, welche Kriterien tatsächlich entscheidungsrelevant sind.

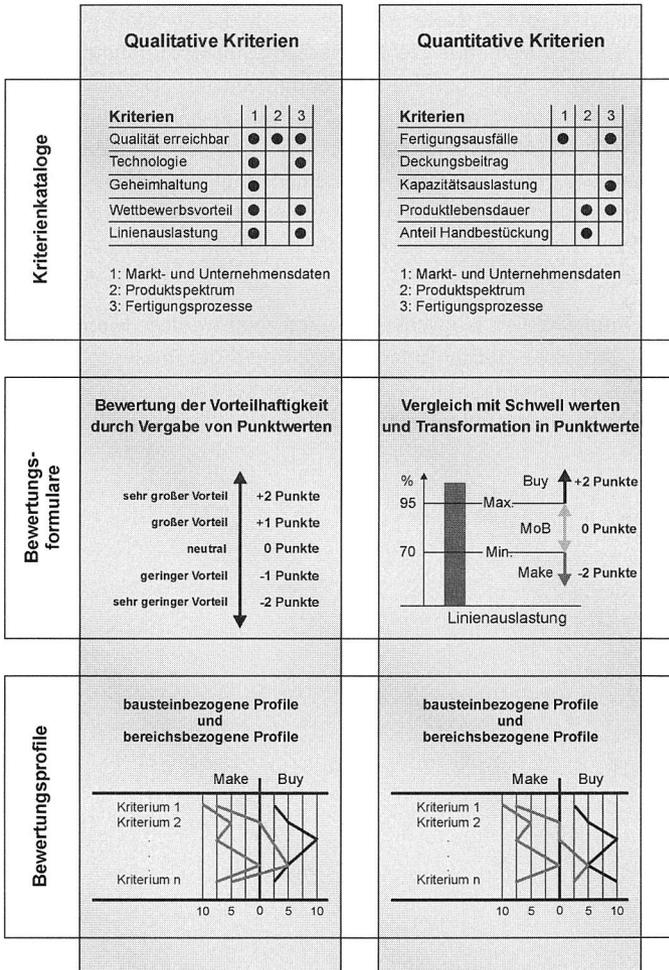


Bild 44: Komponenten des Moduls zum Make-or-Buy Management

Der Verlauf eines Bewertungsprofils veranschaulicht, welches Kriterium für die Beschaffungsart Make bzw. Buy spricht. Der Abstand des Bewertungsprofils von der Make-Buy-Grenze ist ein Maß für die Vor- oder Nachteilhaftigkeit einer Make- oder Buy-Entscheidung. Das heißt, je weiter die Linie von der Make-Buy-Grenze entfernt liegt, umso deutlicher spricht dieses Kriterium für die angezeigte Beschaffungsart.

In Bild 44 sind zusammenfassend die wesentlichen Komponenten des Moduls zum Make-or-Buy Management nochmals dargestellt. Die zu Grunde liegende Bewertungssystematik Make-or-Buy bietet die Möglichkeit, die Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen sowohl aus Sicht der betroffenen Unternehmensbereiche (Prozesse) als auch aus Sicht der Bausteine darzustellen. Die entwickelte Bewertungssystematik darf jedoch nur als eine Entscheidungshilfe verstanden werden, die durch eine systematische Datenerfassung und Verarbeitung dem Entscheidungsteam eine fundierte, objektivierbare Diskussionsgrundlage liefert. Die eigentliche Make-or-Buy Entscheidung muss vom Entscheidungsteam getroffen werden und kann von Fall zu Fall vom Ergebnis, das die entwickelte Bewertungssystematik liefert, abweichen.

Im folgenden Kapitel sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie mit dem Ziel, die Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Prozessebene transparent zu machen, eine Verbindung von der Managementebene zu den Produktionssystemen auf der Prozessebene hergestellt werden kann.

4 Entwicklung eines Moduls zum Prozess-Engineering in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

Wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, besteht eine zentrale Aufgabe des modernen Produktionsmanagements darin, die Wandlungsfähigkeit der Unternehmen auf Veränderungen der Produktionsbedingungen sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Ebene zu steigern. Zur Unterstützung des Produktionsmanagements auf der strategischen Ebene wurde in Kapitel 3 ein Modul zum Make-or-Buy Management entwickelt, das zur kontinuierlichen Ausrichtung der Kernkompetenzen nach technologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten beiträgt. Gegenstand dieses Kapitels ist der Aufbau eines Moduls zum Prozess-Engineering, um auf der taktisch-operativen Ebene schnellstmöglich und zuverlässig auf technologische und kapazitive Veränderungen reagieren zu können.

Die in Kapitel 2.4.1 durchgeführte Bewertung ausgewählter Ansätze und Verfahren zum Produktionsmanagement hat gezeigt, dass bisher eine vollständige Beurteilung von Veränderungen der Produktionsstrategie sowie von Maßnahmen zur Prozessgestaltung als Reaktion auf technologische oder kapazitive Veränderungen nicht ausreichend unterstützt wird. Insbesondere scheitert dies an der fehlenden Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene. Im Rahmen dieses Kapitels wird gezeigt, wie durch den parallelen Einsatz von Geschäftsprozess- und Ablaufsimulation wertvolle Daten aus der Prozessebene zur vollständigen Beurteilung von Veränderungen der Produktionsstrategie und von Maßnahmen zur Prozessgestaltung als Reaktion auf technologische oder kapazitive Veränderungen beschafft und so Schnittstellen auf dem Weg zu einem vertikalen Datenfluss beseitigt werden können.

4.1 Ziele und Vorgehensweise im Rahmen des Prozess-Engineerings

Im Folgenden wird nach einer Begriffsdefinition ein Branchenprozessmodell für die Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau entwickelt, das die Grundlage für das Modul zum Prozess-Engineering in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau darstellt.

4.1.1 Begriffsdefinitionen

Eng verzahnt mit der Kundenorientierung innerhalb und außerhalb des Unternehmens ist das Denken in Prozessen [93]. Im Gegensatz zur funktionalen Sichtweise, die den Blick auf das Unternehmen als Ganzes verstellt und zu einer mangelnden Kundenorientierung führt, besteht die Zielsetzung der prozessorientierten Sichtweise

darin, näher am Kunden zu agieren und so auf die wechselnden Anforderungen des Marktes flexibler reagieren zu können [45]. Insbesondere die wachsende Bedeutung des dynamischen Aspektes, der die Bedeutung des Faktors Zeit in den Mittelpunkt der Betrachtung rückt, legt es nahe, eine prozessorientierte Sichtweise des Unternehmens einzunehmen [65]. Eine Vergleichbarkeit von grundsätzlich unterschiedlichen Produktionsstrategien ist aus technischer und gleichzeitig betriebswirtschaftlicher Sicht erst auf Prozessebene möglich [117].

In der Literatur hat sich bisher noch keine allgemeingültige Definition des Prozessbegriffs herausgebildet [16]. Nach Gaitanides [45] sind Prozesse Abfolgen von Aktivitäten, die in einem logischen inneren Zusammenhang stehen. Im Ergebnis führen sie zu einem Produkt oder einer Leistung, die durch einen Kunden(prozess) nachgefragt wird. Ein Prozess zeichnet sich durch einen definierten Beginn, durch ein definiertes Ende sowie durch die strukturierte Anordnung aus, die als Gesamtheit einen Wert für einen internen oder externen Kunden schaffen.

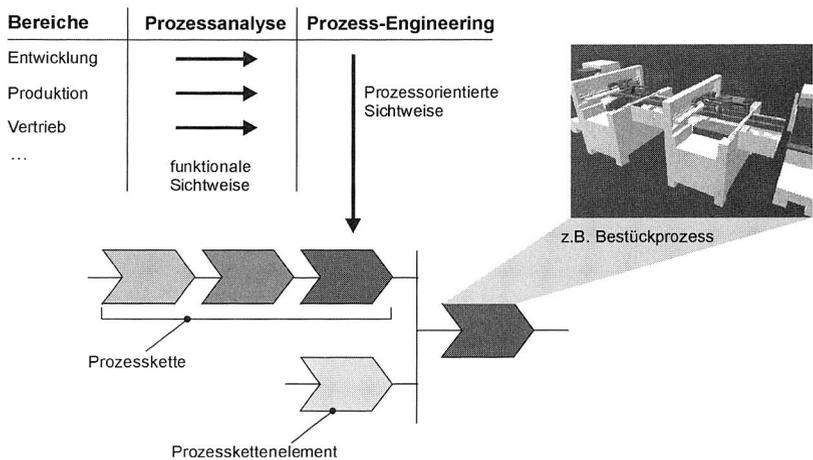


Bild 45: Prozessketten als Kalkulations- und Rationalisierungsobjekte

Nach der Art der Wertschöpfung kann zwischen Fertigungsprozessen und fertigungsunterstützenden Prozessen unterschieden werden [8]. Fertigungsprozesse beziehen sich auf Wertschöpfungsaktivitäten unmittelbar bezogen auf das Produkt, wohingegen fertigungsunterstützende Prozesse Unterstützungsprozesse sind, die vorbereitend oder unterstützend zu den Fertigungsprozessen durchgeführt werden müssen, um das Produkt herzustellen. Nach der Art der Leistung lassen sich Geschäftsprozesse und Produktionsprozesse unterscheiden [87]. Geschäftsprozesse werden als eine Folge von Aktivitäten verstanden, deren Inhalt eine am Unternehmensziel

ausgerichtete Leistung ist [20]. Nach der Art der Komplexität kann der Prozess über mehrere Detaillierungsstufen hinweg in Teilprozesse zerlegt werden. Die oberste Zerlegungsstufe wird als Hauptprozess und die unterste Zerlegungsstufe als Tätigkeit oder Aktivität bezeichnet.

Unter einer Prozesskette versteht man die sequentielle Anordnung von Teilprozessen bzw. Prozesskettenelementen in linearer Form [4, 68], die entlang der Zeitachse miteinander verknüpft sind. Prozessketten visualisieren alle Material- und Informationsflüsse, die zur Abwicklung eines Auftrages durchgeführt werden müssen.

Wesentliche Voraussetzung, um die zur Auftragsabwicklung erforderlichen Prozessketten und deren Material- und Informationsflussbeziehungen erfassen zu können, ist die Durchführung einer Prozessanalyse. Im Rahmen der Prozessanalyse stellen die Prozessketten die Kalkulations- und Rationalisierungsobjekte dar (Bild 45). Die Ergebnisse der Prozessanalyse sind neben einer mengen-, qualitäts- und zeitbezogenen Bewertung des Ressourceneinsatzes die kostenrechnerische Bewertung des Wertverzehrs der einzelnen Prozesse.

Aufbauend auf diesen Grundbegriffen soll im Folgenden der Begriff Prozess-Engineering definiert werden. Unter Prozess-Engineering wird das Analysieren und Beeinflussen der an der Wertschöpfung direkt oder indirekt beteiligten Fertigungsprozesse sowie fertigungsunterstützenden Prozesse verstanden [34]. Dem Prozess-Engineering liegt die Vorstellung zu Grunde, dass jedes Unternehmen mit seinen Prozessen im Wettbewerb zu anderen Unternehmen steht und jeder exzellente Prozess spürbare Vorteile gegenüber seinen Mitbewerbern bringt. Die Anforderung, die Wandlungsfähigkeit im Hinblick auf technologische Veränderungen einerseits und Kapazitätsschwankungen andererseits zu erhöhen, setzt die Beherrschung der eigenen Prozesse voraus.

Ziel des Prozess-Engineerings ist es somit, nicht mehr einzelne Prozesse isoliert zu verbessern, ohne die Auswirkungen auf andere Prozesse zu beachten, sondern ein Optimum entlang der gesamten logistischen Kette anzustreben [4]. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht dabei die Integration komplexer Fertigungsprozesse und fertigungsunterstützender Prozesse, denn damit ist ein großes strategisches Potenzial im Hinblick auf unternehmensspezifische Wettbewerbsvorteile verknüpft [43].

4.1.2 Aufstellen eines Branchenprozessmodells als Grundlage für das Prozess-Engineering

Die grundsätzliche Zielsetzung der Modellierung ist die Abbildung eines Ausschnitts aus der Realität zum Zwecke der Abbildung und Analyse der Produktion und ihrer Prozesse. Das Modell, das eine Abstraktion der Realität darstellt, reduziert die Realität je nach Aufgabenstellung auf bestimmte Eigenschaften [5].

In den vergangenen Jahren wurde eine hohe Anzahl an Modellierungsmethoden und Visualisierungstechniken entwickelt [50, 85, 127].

Die Methode der modellbasierten Planung besitzt ein breites Spektrum von Nutzenpotenzialen. Die Modellierungsansätze ermöglichen u.a. die Ermittlung von zeitlichen und kapazitiven Engpässen, die schnelle und risikolose Beurteilung von Prozessplanvarianten durch statische und dynamische Auswertungen sowie die Dokumentation der Prozesse unter Berücksichtigung von Zertifizierungsvorgaben [95]. Der wohl wichtigste Nutzen der Methode der modellbasierten Planung liegt aber darin, dass sie aufgrund der hohen Anschaulichkeit durch Animation das gemeinsame Prozessverständnis der Entscheidungsträger fördert und damit die permanente, evolutionäre Anpassung der Prozesse an veränderte Herausforderungen unterstützt. Die Methode der modellbasierten Planung bildet eine gute Grundlage für ein umfassendes Prozess-Engineering entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Nur durch das Erschließen dieses breiten Spektrums an Nutzenpotenzialen wird der nicht unerhebliche Aufwand für die ganzheitliche Modellierung von Produktionssystemen akzeptierbar.

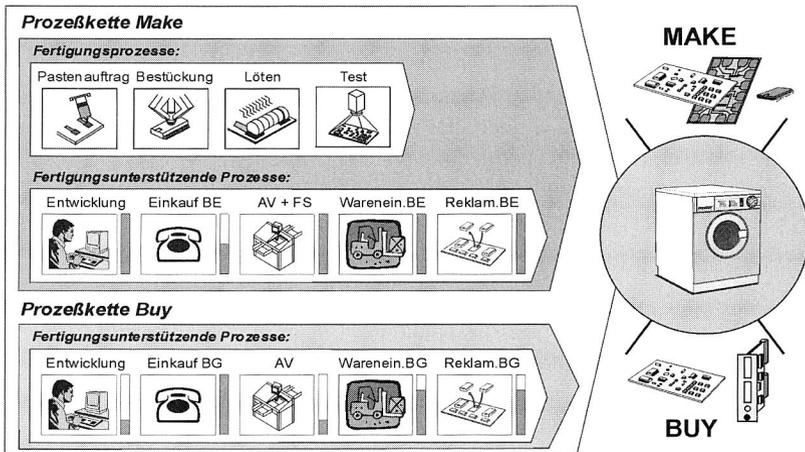


Bild 46: Branchenprozessmodell – Alternative Prozessketten Make/Buy

Das Denken in Wertschöpfungsketten beeinflusst neben den Fertigungsprozessen auch ganz erheblich den Gestaltungsrahmen der fertigungsunterstützenden Prozesse. Wie bereits in Kapitel 2.2.2 erläutert, reicht im Kontext Make-or-Buy die Fokussierung auf die Bestückprozesse nicht aus. Dass dies schnell zu falschen Ergebnissen führt, zeigt die Überlegung, dass bei Fremdbezug eines Produktes zwar die eigenen Fertigungsprozesse und somit deren Kosten zumindest teilweise entfallen.

Andererseits kommt es aber in den fertigungsunterstützenden Bereichen zu einer Aufwandserhöhung. So geht die Reduktion der Fertigungstiefe häufig mit einer Erhöhung des Aufwands in den fertigungsunterstützenden Bereichen einher. Auf eine derartige Zusatzbelastung sind die Bereiche vielfach gar nicht vorbereitet.

Grundlage für die Durchführung des Prozess-Engineerings ist das im Rahmen dieser Arbeit für die Elektronikproduktion im Maschinenbau entwickelte Branchenprozessmodell (Bild 46). Das Branchenprozessmodell beschreibt idealtypisch die Make-or-Buy Prozessketten für die Elektronikproduktion. Die Prozesskette Make umfasst sowohl die direkten Fertigungsprozesse, wie z.B. Pastenauftrag, Bestückung, Löten und Testen, als auch die fertigungsunterstützenden Prozesse, wie z.B. Entwicklung, Einkauf Bauelemente, Arbeitsvorbereitung und Fertigungssteuerung, Wareneingang Bauelemente und Reklamation Bauelemente. Dem gegenüber fallen im Rahmen der Prozesskette Buy lediglich Prozesse in den fertigungsunterstützenden Bereichen an. Der in den Teilprozessketten Entwicklung, Einkauf Baugruppen, Arbeitsvorbereitung, Wareneingang Baugruppen sowie Reklamation Baugruppen entstehende Aufwand im Rahmen der Prozesskette Make unterscheidet sich grundlegend von dem Aufwand in den Teilprozessketten der Prozesskette Buy. Das entwickelte Branchenprozessmodell unterstützt eine zuverlässige Abschätzung der Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien auf die Make- und Buy-Prozessketten.

Darüber hinaus kann das entwickelte Branchenprozessmodell für eine Fülle weiterer Planungsaufgaben im Rahmen des Produktionsmanagements verwendet werden. Im Zuge der Prozessgestaltung wird die grundlegende Vereinfachung von Prozessen und Prozessketten angestrebt. Durch die Vereinfachung von Prozessen werden die Abläufe im Unternehmen durchschaubar und beherrschbar, was dazu beiträgt, dass das Unternehmen schnell und flexibel auf Änderungen der Unternehmensumwelt reagieren kann. In Bild 47 sind die grundlegenden Maßnahmen der Prozessgestaltung am Beispiel der alternativen Prozessketten für Eigenfertigung und Fremdbezug dargestellt, die im Zusammenhang mit dem Redesign von Wertschöpfungsketten stehen.

In Anlehnung an Pielok [95] lässt sich die Produktionsstruktur durch folgende prinzipiellen Maßnahmen im Sinne einer Modulation der Prozessketten verändern.

- Zusammenfassen (z.B. Komplettbearbeitung)
- Parallelisieren (z.B. Simultaneous Engineering)
- Erweitern (z.B. Insourcing)
- Verkürzen (z.B. Outsourcing)
- Eliminieren (z.B. Technologiewechsel)
- Vertauschen (z.B. Zeitpunkt und Ort der Kundenorientierung)

Die Maßnahmen beziehen sich entweder auf einzelne Prozessschritte oder die gesamte Prozesskette. Darüber hinaus können die Maßnahmen einzeln oder in Kombination bei der Entwicklung von Soll-Modellen zum Einsatz kommen.

Auf der Grundlage des entwickelten Branchenprozessmodells für die Elektronikproduktion im Maschinenbau lassen sich durch den Vergleich alternativer Prozessketten Ansatzpunkte zur Optimierung der Prozessketten ziehen. Die klassischen Zielgrößen, wie Termintreue, Durchlaufzeit und Kapazitätsauslastung, sowie deren beschreibende Kennzahlen bilden die Ansatzpunkte für ein Redesign der Wertschöpfungsketten.

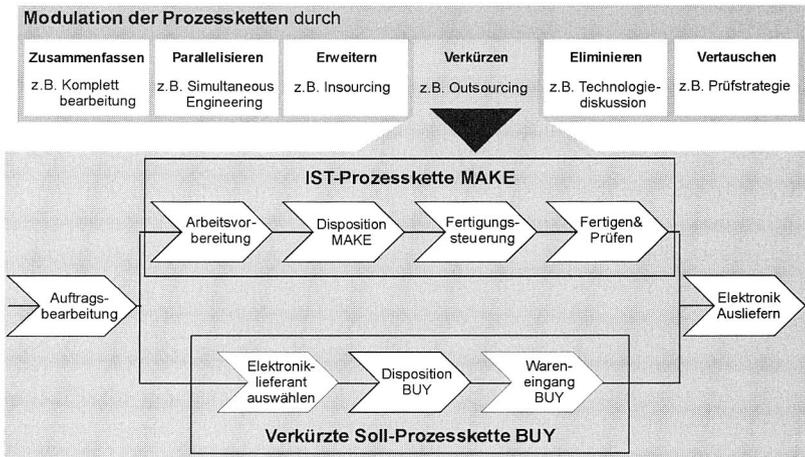


Bild 47: Maßnahmen zum Redesign von Wertschöpfungsketten

Im Folgenden soll gezeigt werden, wie durch den Einsatz der Simulation das Prozess-Engineering unterstützt werden kann.

4.1.3 Simulationsgestütztes Prozess-Engineering

Die VDI-Richtlinie 3633 definiert Simulation als „Nachbildung eines dynamischen Prozesses in einem Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind“ [134]. Ein besonderer Vorteil der Simulation ist die Möglichkeit, zielgerichtet an Modellen zu experimentieren und durch die Variation von Systemaufbau, Parametern, Randbedingungen und Störgrößen eine Vielzahl möglicher Problemstellungen und Lösungen betrachten zu können [109].

Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass die Simulation selbst nicht automatisch zu einer Optimierung führt, sondern nur die durch bestimmte Randbedingungen festge-

legten Systemzustände abbildet [67]. Der Planer bestimmt in entscheidendem Masse die Qualität einer solchen Simulationsstudie, indem er die gewonnenen Ergebnisse interpretiert, aus ihnen Schlussfolgerungen zieht, anschließend die Randbedingungen des Modells verändert und danach erneut einen Simulationslauf startet. Der Optimierungsprozess liegt in der Verantwortung des Planers, unterstützt wird er dabei durch die Simulationsergebnisse.

Erst in den letzten Jahren hat sich parallel zur Ablaufsimulation, die traditionell für determinierte Prozesse in Produktion und Logistik eingesetzt wird, die Geschäftsprozesssimulation entwickelt. Ziel der Geschäftsprozesssimulation ist es, durch die Kombination mit Werkzeugen zur Geschäftsprozessmodellierung die Simulation auch im Rahmen der Geschäftsprozessgestaltung einzusetzen [46].

Im klassischen Sinne umfasst die Simulation in der Produktionstechnik neben der Geschäftsprozess- und Ablaufsimulation die Bereiche graphische 3D-Simulation bzw. Kinematiksimulation und die FEM-Simulation (Bild 48). Simulationstechnologien kommen somit auf unterschiedlichen Planungsebenen, von der strategischen Planung einer Fabrik oder eines Produktionsnetzwerks bis zur detaillierten Planung einer Systemkomponente mit ihren spezifischen Prozessen zum Einsatz.

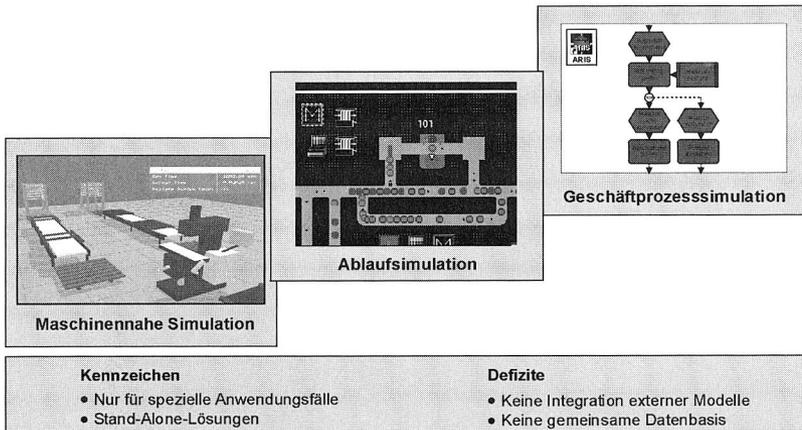


Bild 48: Klassische Einsatzfelder des Werkzeuges Simulation

Dem Einsatz der Simulation als umfassendes Planungswerkzeug steht die mangelnde Integration von Modellen und Daten entgegen [98]. Dies resultiert insbesondere daraus, dass es sich bei den eingesetzten Simulationen zumeist um stand-alone Lösungen für die entsprechenden Einsatzfelder handelt. In der Zukunft wird deshalb neben der Steigerung der Leistungsfähigkeit der Einzelsysteme selbst

die Interaktion zwischen verschiedenen Simulationssystemen an Bedeutung gewinnen.

Gegenstand derzeitiger Forschungsansätze ist die Kopplung der Prozessebene, Maschinenebene, Zellenebene, Anlagenebene und Fabrikebene über das Werkzeug der Simulation. So stellen zum Beispiel Reinhart et al. [102] und Rau [98] die Nutzung der Ablaufsimulation über verschiedene Einsatzgebiete, Prozessketten und Abstraktionen vor und betonen die Notwendigkeit der Integration der Ablaufsimulation in den Planungsprozess. Feldmann/Schlögl [36] haben am Beispiel der Elektronikproduktion gezeigt, wie sich durch den Einsatz von maschinennahen Referenzmodellen Simulationsmodelle schneller aufbauen lassen. Über den Einsatz von Referenzmodellen können die bei der Konstruktion von Maschinen gewonnenen Daten auch in der Ablaufsimulation und bei der Planung von Fertigungssystemen eingesetzt werden. Der Ansatz der Referenzmodelle für maschinennahe Simulationskomponenten zielt somit auf eine Integration der Zellenebene und der Anlagenebene ab.

Zielsetzung des in dieser Arbeit entwickelten Ansatzes des simulationsgestützten Prozess-Engineerings ist der kombinierte Einsatz von Geschäftsprozess- und Ablaufsimulation zur Unterstützung des Produktionsmanagements (Bild 49).

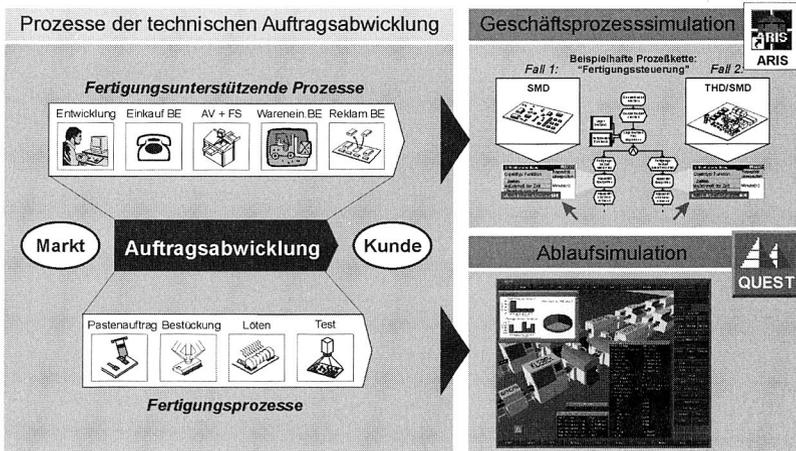


Bild 49: Integrierte Planung im Rahmen des Produktionsmanagements

Diese Zielsetzung soll am Beispiel des Verschiebens von Leistungsgrenzen eines Produktionssystems durch angepasste Make-or-Buy Strategien im Folgenden etwas konkretisiert werden. In Bild 50 repräsentiert der Balken aus Sicht eines Baugruppenproduzenten das derzeitige Spektrum an Flachbaugruppen. Das Produktpro-

4.2 Aufstellen eines Katalogs von Maßnahmen zum Kapazitätsabgleich im Kontext Make-or-Buy

Nach Westkämper [141] ist Wandlungsfähigkeit das Ergebnis permanenter Gestaltungsmaßnahmen. Wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, sind die zentralen Voraussetzungen für Wandlungsfähigkeit eine hohe technische und kapazitive Flexibilität bei gleichzeitig hoher Reaktionsfähigkeit. Von geradezu strategischer Bedeutung ist die situationsgerechte Planung und Steuerung der Kapazitäten. Im Folgenden wird ein Katalog von Maßnahmen zum Kapazitätsabgleich im Kontext Make-or-Buy aufgestellt, um im Rahmen des Prozess-Engineerings auf der taktisch-operativen Ebene auf technologische und kapazitive Veränderungen reagieren zu können.

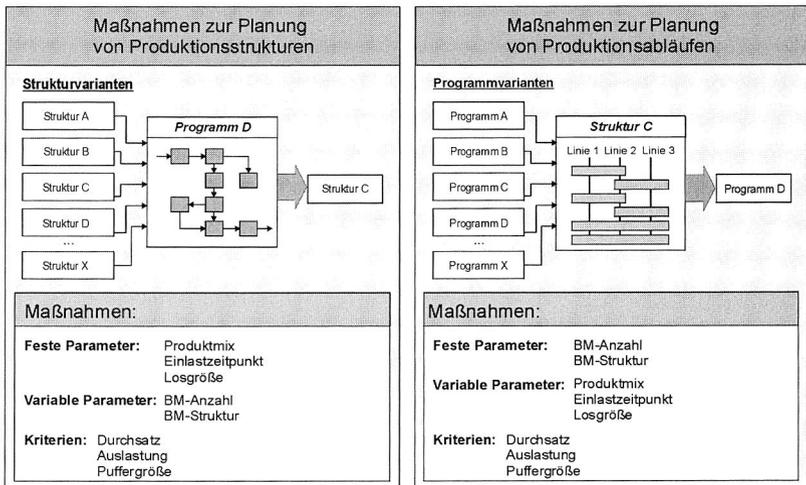


Bild 51: Gegenüberstellung von Maßnahmen zur Planung von Produktionsstrukturen und – abläufen

Gupta [47] unterscheidet bei der Frage der Gestaltung von Kapazitäten zwischen mehreren Grundfunktionalitäten, nämlich dem Kapazitätsaufbau, dem Kapazitätsabbau, der Kapazitätenverschiebung und der Kapazitätenmodifikation. Ein Kapazitätsauf- bzw. -abbau erfolgt durch die Erhöhung bzw. Reduzierung der Ressourcenkapazität einer oder mehrerer Unternehmensressourcen innerhalb der Bilanzgrenze des Unternehmens. Unter einer Kapazitätenverschiebung versteht man den bereichsbezogenen Auf- bzw. Abbau einer Ressource, der in einem anderen Unternehmensbereich einen Ab- bzw. Aufbau der gleichen Ressourcenart bewirkt. Dabei erfolgen die Veränderungen der Ressourcenstruktur innerhalb der Bilanzgrenze des

Unternehmens. Eine Kapazitätenmodifikation liegt vor, wenn sämtliche Gestaltungsmaßnahmen an einer einzelnen Ressource erfolgen, welche die qualitativen Eigenschaften der Ressource (z.B. die Wertschöpfung) verändern, ohne die Ressourcenkapazität zu variieren (z.B. Schulungen des Personals).

Während die Planung von Produktionsstrukturen auf die lang- bis mittelfristige Optimierung, beispielsweise der Betriebsmittelstruktur und -anzahl, ausgerichtet ist, steht im Rahmen der Planung von Produktionsabläufen die kurzfristige Optimierung innerhalb der durch die Produktionsstruktur vorgegebenen Möglichkeiten im Mittelpunkt. Ausgangspunkt bei der Planung von Produktionsstrukturen sind somit unterschiedliche Strukturalternativen, wohingegen bei der Planung von Produktionsabläufen unterschiedliche Szenarien von Produktionsprogrammen entworfen werden.

Grundsätzlich lassen sich die Maßnahmen zum Kapazitätsabgleich im Kontext Make-or-Buy in Maßnahmen im Rahmen der Planung von Produktionsstrukturen und in Maßnahmen im Rahmen der Planung von Produktionsabläufen unterscheiden. In Bild 51 sind ausgewählte Maßnahmen zur Planung von Produktionsstrukturen und -abläufen einander gegenübergestellt.

4.2.1 Maßnahmen im Rahmen der Planung von Produktionsstrukturen

Maßnahmen im Rahmen der Planung von Produktionsstrukturen ziehen sowohl Änderungen der Produktionsstruktur, z.B. dem verfolgten Linienkonzept, als auch Änderungen der zu Grunde liegenden Produktionsabläufe, z.B. dem Produktionsprogramm, nach sich. Die Gestaltung der Elektronikmontage basiert auf vier Grundkonzepten der Fertigungsstrukturierung (Bild 52), die - abhängig vom jeweiligen Produktspektrum und den vom Unternehmen verfolgten Zielsetzungen - zu vielfältigen Mischformen kombiniert werden können.

Charakteristisch für Zentralbestückbereiche sind universelle Fertigungseinrichtungen, die von allen Produkten durchlaufen werden. Hierdurch ergeben sich für die einzelnen Fertigungsbereiche jeweils große Stückzahlen, die eine Automatisierung begünstigen. Nachteilig sind die vergleichsweise hohen Investitionskosten und Durchlaufzeiten sowie der hohe Steuerungs- und Rüstaufwand.

Produktlinien sind dadurch gekennzeichnet, dass für jede Produktfamilie eine eigene Fertigungslinie aufgebaut wird, die über alle zur Herstellung der jeweiligen Produkttypen erforderlichen Fertigungseinrichtungen verfügt. Den Vorteilen einer kürzeren Durchlaufzeit und eines niedrigeren Steuerungsaufwands stehen die Nachteile eines hohen Auslastungsrisikos und einer geringeren Typenflexibilität gegenüber.

Bei ABC-Teile-Linien erfolgt die Zuordnung der Produkte zu den Fertigungslinien auf der Grundlage einer ABC-Analyse. So wird beispielsweise für A-Teile eine hochauto-

matisierte Rennerlinie eingerichtet, während die B- und C-Teile mit geringem Automatisierungsgrad in einem Zentralbestückbereich gefertigt werden. Ein wesentlicher Nachteil der ABC-Teile-Linien besteht in den vergleichsweise hohen Investitionskosten.

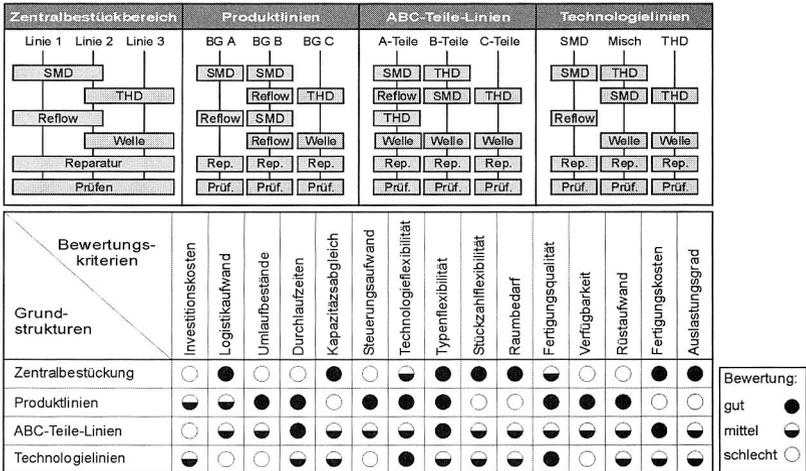


Bild 52: Grundkonzepte der Fertigungsstrukturierung in der Elektronikproduktion (in Anlehnung an [120])

Entsprechend den in der Elektronikproduktion vorherrschenden Technologien lassen sich unterschiedliche Fertigungslinien für die SMD-, THD- und Mischbestückung aufbauen. Durch Technologielinien wird eine hohe Fertigungsqualität aufgrund der Spezialisierung der Mitarbeiter ermöglicht.

Neben diesen Grundkonzepten lassen sich durch geeignete Kombination für jeden Betrieb optimale Mischformen bilden.

4.2.2 Maßnahmen im Rahmen der Planung von Produktionsabläufen

Die Maßnahmen im Rahmen der Planung von Produktionsabläufen sind im Vergleich zu den Maßnahmen im Rahmen der Planung von Produktionsstrukturen eher kurzfristiger Natur. Bei den Strategien, die im Rahmen der Planung von Produktionsabläufen eine kurzfristige Kapazitätsanpassung unterstützen, kann zwischen der zeitlichen Verlagerung, der technischen Verlagerung, der Veränderung der Normalkapazität, der kapazitätsbedingten Fremdvergabe sowie dem kurzfristigen Abgleich in Produktionsnetzen unterschieden werden.

Während bei der zeitlichen Verlagerung ein Ausgleich über die Lieferfristen stattfindet, setzt die technische Verlagerung das Vorhandensein und die Verfügbarkeit alternativer Technologien voraus, die für die Herstellung der anstehenden Fertigungsaufträge eingesetzt werden können.

Die Maßnahme einer Veränderung der Normalkapazität setzt bei den betrieblichen Arbeitszeiten entsprechend der jeweiligen Arbeitssituation an. Flexible Arbeitszeitmodelle erlauben in begrenztem Umfang eine Anpassung der Beschäftigung an kurzfristige Auslastungsschwankungen.

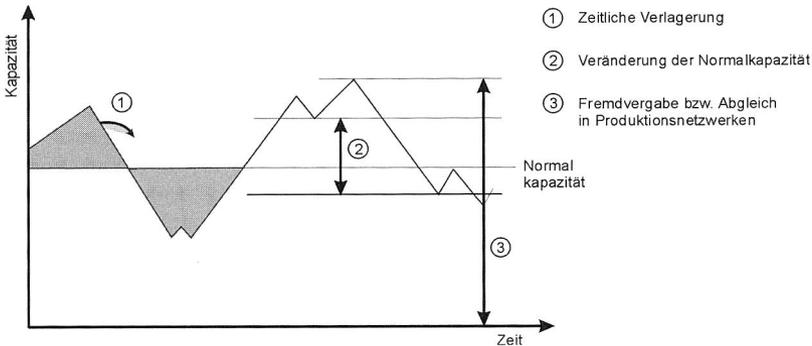


Bild 53: Strategien zur kurzfristigen Anpassung der Kapazitäten an schwankende Auslastung (in Anlehnung an [141])

Die kapazitätsbedingte Fremdvergabe resultiert aus situationsabhängigen und zeitlich begrenzten Überlastsituationen an einem oder mehreren Arbeitssystemen. Sie dient somit überwiegend zum Ausgleich temporärer Engpässe. Im Gegensatz zur kapazitätsbedingten Fremdvergabe ist die technologiebedingte Fremdvergabe eher langfristiger Natur [148]. Bei der technologiebedingten Fremdvergabe werden Arbeitsgänge einer bestimmten Technologie fremdvergeben, da es aufgrund der Mengen oder den mit der Technologie verbundenen Anforderungen unwirtschaftlich wäre, diese Arbeitsgänge unternehmensintern durchzuführen.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bandbreite an Aufbau- und Verbindungstechnologien sowie den damit verbundenen Investitionsrisiken rückt in der Elektronikproduktion der Kapazitätsabgleich in Produktionsnetzen zunehmend in den Mittelpunkt der Betrachtungen. Die mit den unterschiedlichen Netzwerktypen in der Elektronikproduktion verfolgten Ziele werden in Kapitel 5 dieser Arbeit noch näher erläutert.

Im Folgenden wird gezeigt, wie das Produktionsmanagement auf der taktisch-operativen Ebene bei der Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf

die Geschäfts- und Produktionsprozesse unterstützt werden kann. Insbesondere werden Wege aufgezeigt, wie auf Grundlage des Werkzeuges Simulation eine Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene hergestellt werden kann.

4.3 Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Geschäftsprozesse

Der Schlüssel zur Planung von Geschäftsprozessen ist die Zerlegung der Gesamtaufgabe der zu Grunde liegenden Geschäftsprozesse in ihre Teilaufgaben und Funktionen, wodurch eine differenzierte Betrachtung der Produktionsfaktoren und ihres Zusammenwirkens ermöglicht wird [81, 127].

Bei der Planung von Geschäftsprozessen werden ausgehend von einer Prozesszieldefinition die Geschäftsprozesse mittels verschiedener Modellierungsansätze modelliert. Gegenstand der Geschäftsprozessmodellierung ist die Erfassung der Teilprozesse des ausgewählten Geschäftsprozesses mit ihren Kunden-Lieferanten-Beziehungen, den benötigten Ressourcen (Mitarbeiter und Sachmittel) und den Material- und Informationsflüssen. Die Prozessanalyse und –bewertung erfolgt durch Kennzahlenanalyse (statischer Ansatz) oder Geschäftsprozesssimulation (dynamischer Ansatz). Die Prozessvariablen und Einflussgrößen bilden die Grundlage für die formulierten Bewertungskriterien zur quantitativen Beurteilung von Prozessen [87]. Auf Basis der aufgedeckten Optimierungspotenziale lassen sich Ansätze zur Prozessneugestaltung entwickeln und daraus Ansatzpunkte für die Ressourcenplanung ableiten [21].

Wie bereits in Kapitel 4.1.3 erläutert, wird das Werkzeug Simulation verstärkt auch im Rahmen der Planung von Geschäftsprozessen eingesetzt. Zum Thema Geschäftsprozesssimulation ist derzeit die VDI-Richtlinie 3633, Blatt 10, in Bearbeitung. Voraussetzung für den Einsatz der Simulation zur Planung von Geschäftsprozessen ist die Erstellung eines ablauffähigen Modells der fertigungsunterstützenden Prozesse mit einem dafür geeigneten Modellierungswerkzeug. Durch Visualisierung und Animation von Prozessketten werden Veränderungen der Prozessketten unmittelbar in ihren Auswirkungen sichtbar. Eine Gegenüberstellung und Bewertung verschiedener Gestaltungsalternativen der Prozessketten unter den Gesichtspunkten von Effizienz und Effektivität wird somit möglich. Die Ergebnisse der Geschäftsprozessanalyse lassen sich auch zur Ressourcenplanung und zur Prozesskostenrechnung einsetzen. Dazu werden die Simulationsläufe unter den Gesichtspunkten von Zeit- und Kostenaspekten sowie von knappen Ressourcen ausgewertet und verglichen [136].

4.3.1 Modellierungsmethoden zur Planung von Geschäftsprozessen

Rechnergestützte Werkzeuge können bei der Planung von Geschäftsprozessen eine entscheidende Unterstützung leisten [12, 118]. Ziel der Prozessmodellierung ist die Steigerung des Wissens über die Prozessstruktur, die momentane Leistungsfähigkeit der Prozesse sowie ihre Schwachstellen. Zur Unterstützung der Planung von Geschäftsprozessen im Rahmen des Prozess-Engineerings stehen mehrere Softwarewerkzeuge zur Auswahl. Sowohl bei der Erhebung von Ist-Abläufen, der übersichtlichen Darstellung der Prozesse, der Analyse von Zeiten, Kosten und Ressourcen, der Dokumentation und Verwaltung von Abläufen sowie der Entwicklung von Sollkonzepten bieten Softwarewerkzeuge wertvolle Hilfen. Bei den Softwarewerkzeugen, die im Rahmen der Planung von Geschäftsprozessen zum Einsatz kommen, kann zwischen Zeichnern, Modellierern sowie Simulatoren unterschieden werden (Bild 54, [55]).

Zeichner dienen dazu, Abläufe schnell und einfach grafisch umzusetzen. Sie sind in der Regel nicht speziell auf die Darstellung von Prozessen ausgerichtet, sondern eignen sich ganz allgemein für schematische Zeichnungen aller Art. Zeichner verlangen keine logische Struktur und bieten auch keine weiteren Auswertemöglichkeiten und Konsistenzchecks.

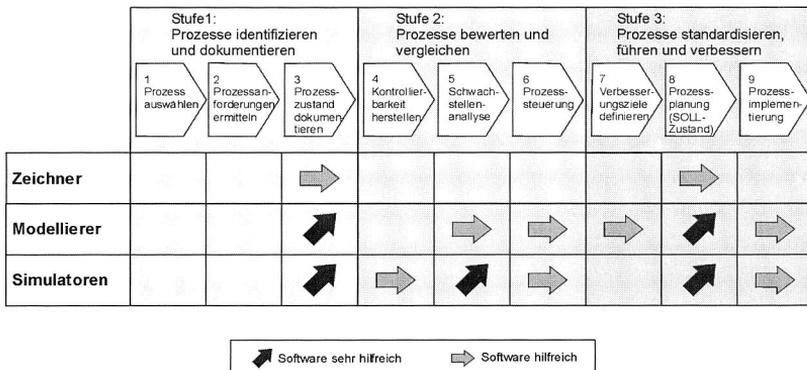


Bild 54: Landkarte der Softwarewerkzeuge

Im Gegensatz zu den Zeichnern ermöglichen es Modellierer, statische Prozessmodelle zu erstellen und konsistent zu halten. Ergebnis der Modellierung ist eine Prozessstrukturtransparenz [61]. Modellierer sind jedoch in Bezug auf die Abbildung des dynamischen Verhaltens eines Unternehmens durch eine unzureichende Integration der Abbildung nebenläufiger Prozesse, eine unzureichende quantitative Abbildung

des Datenaustausches und eine unzureichende Abbildung des zeitlichen Systemverhaltens gekennzeichnet [127].

Mit Hilfe moderner Simulatoren werden die Material-, Dokumenten- und Informationsflüsse, die entlang der Prozessketten verlaufen, numerisch simuliert, animiert und visualisiert. Die Szenarienbildung zur Ablaufoptimierung erfolgt durch variierende Parametereinstellungen oder Ablauffolgen. Dies setzt zusätzlich die Erfassung von Prozesszeiten, Ressourcenverbrauch und Prozesskosten voraus, wodurch wiederum eine genauere Analyse als für die Strukturmodellierung erforderlich wird. Ergebnis der Simulation ist eine Prozessleistungstransparenz [44], die eine Bewertung der Prozesskette im Hinblick auf Effektivität und Effizienz erlaubt.

Im Zuge der zunehmenden Bedeutung der Geschäftsprozessmodellierung wurden in den letzten Jahren zahlreiche Modellierungsmethoden entwickelt. Im Folgenden sollen exemplarisch die beiden Modellierungsmethoden Line of Visibility (LoV) und Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) vorgestellt werden.

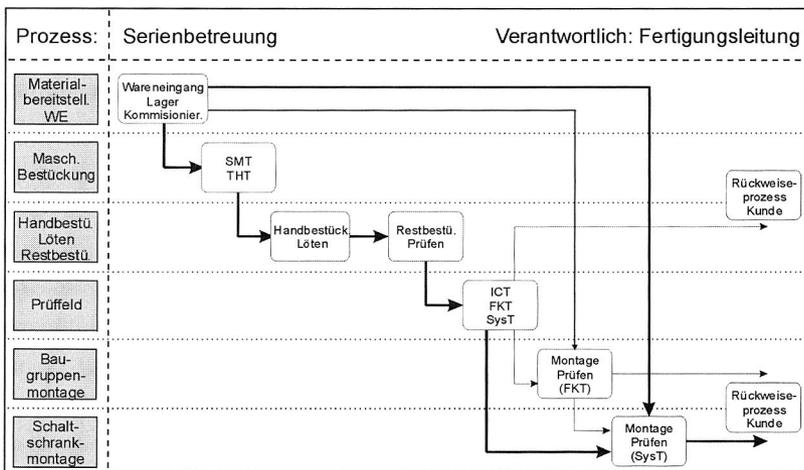


Bild 55: Line of Visibility-Darstellung am Beispiel des Hauptprozesses Serienbetreuung

Die LoV-Methode ist eine weit verbreitete Visualisierungstechnik. Sie stellt die Schnittstellen zum internen bzw. externen Kunden in den Mittelpunkt. Zielsetzungen, die mit dem Einsatz dieser Visualisierungstechnik verknüpft sind, sind die systematische Optimierung von Prozessen unter Einbeziehung sämtlicher Prozessbeteiligten, die Ermittlung von Schwachstellen und die Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen. Dies geschieht häufig auf der Grundlage von Prozesskennzahlen, die dazu dienen, Ziele zu vereinbaren und die Zielerreichung zu messen. Durch die einheitli-

che Darstellung der betrieblichen Prozesse in der LoV-Methode wird die Kommunikation und die Zusammenarbeit mit internen bzw. externen Kunden entscheidend erleichtert. In Bild 55 ist eine LoV-Darstellung am Beispiel des Hauptprozesses Serienbetreuung dargestellt.

Eine weitere weit verbreitete Visualisierungstechnik ist die Methode der Ereignis-gesteuerten Prozesskette (EPK). Bei der EPK-Methode werden die zeitlich logischen Abhängigkeiten des Prozesses dargestellt. Das Prozessmodell wird im Wesentlichen durch die Elemente Funktionen, Ereignisse und Verknüpfungsoperatoren aufgebaut [61, 111]. Prozesse werden als Abfolge von Ereignissen und Funktionen beschrieben. Ereignisse definieren, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um eine Funktion bzw. den Gesamtprozess auszulösen, und beschreiben auch den möglichen Endzustand einer Funktionsbearbeitung. Um Verzweigungen und Schleifen darstellen zu können, werden Verknüpfungsoperatoren, sogenannte Konnektoren, eingefügt, die die logischen Verknüpfungen zwischen den Objekten spezifizieren. Eine in dieser Form abgebildete ereignisgesteuerte Prozesskette muss mindestens ein Startereignis besitzen und mit mindestens einem Endergebnis (Funktion) abgeschlossen werden. Da die Ereignisse die Funktionen steuern, wird der Gesamtablauf als Ereignisgesteuerte Prozesskette bezeichnet. Die Ereignissteuerung ermöglicht die Modellierung und Analyse von Prozessen und die Simulation eines dynamischen Systemverhaltens.

Die Prozesse können in beliebig viele Prozesshierarchien untergliedert werden. Darunter wird die Prozessbeschreibung mit unterschiedlichem Aggregationsgrad verstanden. Der Detaillierungsgrad ist dabei so hoch zu wählen, dass eine Bewertung der Alternativen möglich wird, die Prozessmodelle aber transparent und handhabbar bleiben.

Eine Erweiterung der Ereignisgesteuerten Prozessketten um den Aspekt der Ressourcen kann durch Zuordnung der Organisationseinheiten zu Funktionen erfolgen. Somit können alle an einem Prozess beteiligten Organisationseinheiten ermittelt und Maßnahmen zur Ressourcenplanung auf der Geschäftsprozessebene abgeleitet werden.

4.3.2 Anforderungen an das Simulationsmodell zur Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Geschäftsprozesse

Grundlage für die Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Geschäftsprozesse ist das in Kapitel 4.1.2 vorgestellte Branchenprozessmodell. Mit dem Ziel, den mit unterschiedlichen Make-or-Buy Strategien verbundenen Aufwand in den fertigungsunterstützenden Bereichen zu quantifizieren, wurden im Rahmen dieser Arbeit die relevanten Make- und Buy-Prozessketten der fertigungs-

unterstützenden Bereiche modelliert (Bild 56). Dazu wurde jeder Hauptprozess als eigenständige Prozesskette im Simulationsmodell hinterlegt. Die anschließende Simulation der alternativen Prozessketten für Eigenfertigung und Fremdbezug ermöglicht eine Gegenüberstellung und Bewertung der Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien auf die fertigungsunterstützenden Prozesse.

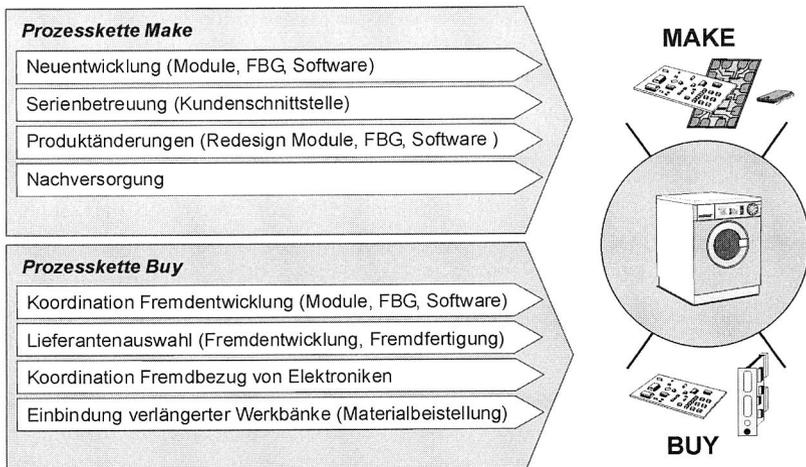


Bild 56: Make- und Buy-Prozessketten der fertigungsunterstützenden Bereiche

Damit das aufgestellte Prozessmodell die Auswirkungen von unterschiedlichen Make-or-Buy Strategien auf die Prozessebene transparent macht und den tatsächlichen Aufwand in den fertigungsunterstützenden Bereichen hinreichend genau widerspiegelt, muss beim Aufbau des Simulationsmodells der Einfluss der Produktkomplexität auf das Prozessverhalten berücksichtigt werden. In Abhängigkeit von der betrachteten Baugruppe kann es bei gleichem Prozessablauf je nach Produktkomplexität zu unterschiedlichen Zeit- und Wahrscheinlichkeitsprofilen kommen. Eine reine Durchschnittsbetrachtung der hinterlegten Daten würde in diesem Fall zu verfälschten Simulationsergebnissen führen. Der Einfluss der Produktkomplexität auf das Prozessverhalten soll am Beispiel der Prozesskette Fertigungssteuerung erläutert werden (Bild 57).

Je nach Komplexitätsgrad der einzuplanenden Baugruppe kann die Überprüfung der benötigten Fertigungskapazitäten unterschiedlichen Zeitaufwand erfordern. So muss bei einer rein mit SMD zu bestückenden Baugruppe lediglich die Kapazitätsauslastung der SMD-Bestücklinien überprüft werden, während bei einer mit SMD und THD zu bestückenden Baugruppe neben der Kapazitätsauslastung der SMD-Linien auch die der THD-Bestückungseinrichtungen überprüft werden muss. Dies erfordert

einen deutlich höheren Zeitaufwand. Je nach Tätigkeitsinhalten der modellierten Prozessketten kann neben der Berücksichtigung der Produktkomplexität auch die Unterscheidung nach verschiedenen komplexen Bauelementen (z.B. in der Prozesskette Disposition) oder auch nach bauelementeabhängigen Prüfverfahren (z.B. in den Prozessketten Wareneingangsprüfung oder Reklamation Bauelemente) sinnvoll sein.

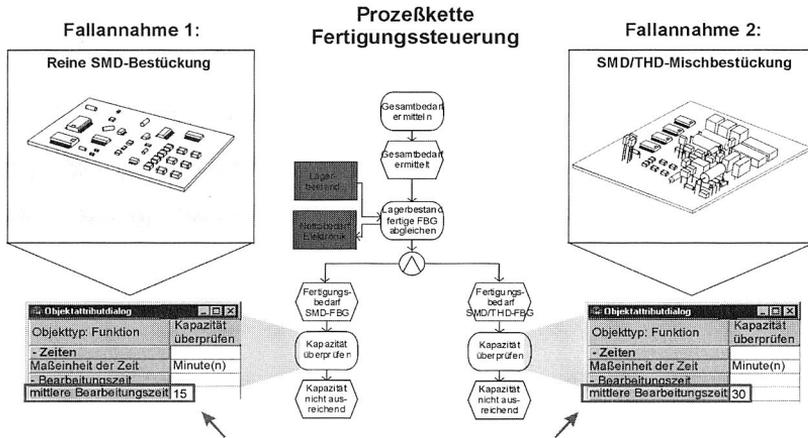


Bild 57: Berücksichtigung der Produktkomplexität beim Aufbau der Prozessmodelle

Um die alternativen Prozessketten für Make und Buy sowie die dabei entstehenden Aufwände in den fertigungsunterstützenden Bereichen einander gegenüberstellen zu können, wurde im Rahmen dieser Arbeit das Modellierungs- und Simulations-Tool ARIS von IDS Prof. Scheer GmbH gewählt. Innerhalb der ARIS-Methodik werden die Techniken der Ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK) als zentrales Beschreibungsmittel verwendet [11].

4.3.3 Baustein zum Ableiten von Ansatzpunkten für die Ressourcenplanung auf Geschäftsprozessebene

Wie bereits in Kapitel 2.4 angesprochen, besteht ein zentrales Problem des heutigen Produktionsmanagements darin, dass die Auswirkungen einer Veränderung des Produktionsprogramms auf den Ressourcenbedarf in den fertigungsunterstützenden Bereichen und die Effizienz der Prozesse häufig nicht berücksichtigt werden. Insbesondere wird der erforderliche Personalauf- bzw. -abbau im Unternehmen nicht adäquat vorangetrieben.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Baustein zum Ableiten von Ansatzpunkten für die Ressourcenplanung auf Geschäftsprozessebene ent-

wickelt. Auf Grundlage der simulierten Prozesszeiten lassen sich wesentliche Rückschlüsse auf die aus unterschiedlichen Make-or-Buy Strategien resultierende Kapazitätsauslastung und darauf aufbauend Maßnahmen zur Ressourcenanpassung in den fertigungsunterstützenden Bereichen ableiten. Ziel ist es, beim Vergleich alternativer Prozessketten für Eigenfertigung und Fremdbezug auch die Ressourcenbelastung zu berücksichtigen, zeitliche und kapazitive Engpassituationen zu identifizieren sowie darauf aufbauend Ansatzpunkte für die Ressourcenplanung abzuleiten.

Die in ARIS erstellten Prozessmodelle für die alternativen Prozessketten Make und Buy bilden dabei die Grundlage für die simulative Analyse der Prozessstrukturen. Auf Basis der Leistungsdaten der Simulation erfolgt in der anschließenden Simulationsauswertung die zeitbezogene Bewertung der alternativen Prozessketten. Aus den Simulationsstatistiken (Prozessstatistik, Funktionsstatistik) lassen sich über die Start- und Stopzeiten für die Funktionen die Bearbeitungszeiten für die Teilprozessketten und die durchgeführten Funktionen bestimmen (Bild 58). Als Ergebnis lässt sich damit die Verteilung der Prozesszeiten auf die Teilprozessketten und auf die durchgeführten Funktionen in den Teilprozessketten visualisieren.

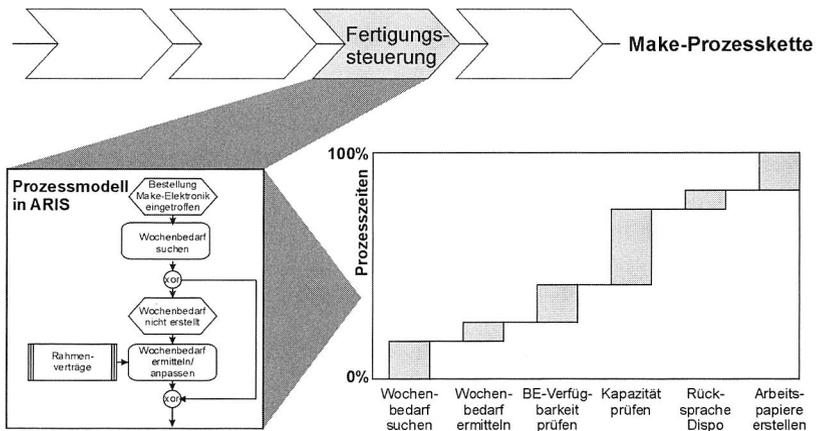


Bild 58: Ressourcenplanung für die Prozesskette Make am Beispiel Fertigungssteuerung in der Flachbaugruppenfertigung

Die Ermittlung und Verrechnung der Kosten erfolgt nicht im Simulationsmodell, sondern in einem nachgeschalteten Kostenrechnungsmodul, das ebenfalls im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde und in Kapitel 5 vorgestellt werden soll.

4.4 Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse

Gegenstand dieses Kapitels ist die Frage, wie das Produktionsmanagement auf der taktisch-operativen Ebene bei der Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse unterstützt werden kann. Dabei gilt es eine Vielzahl von Wechselwirkungen zwischen Make-or-Buy Entscheidungen und klassischen Fragestellungen der Fabrikplanung zu berücksichtigen. Auf der Ebene der Produktionsprozesse geht es insbesondere um die Frage der Planung von Produktionsstrukturen und -abläufen (Bild 59). Während die Planung von Produktionsstrukturen auf die lang- bis mittelfristige Optimierung, beispielsweise der Linienstruktur oder der Anzahl an Bestückerichtungen, ausgerichtet ist, steht im Rahmen der Planung von Produktionsabläufen die kurzfristige Optimierung innerhalb der durch die Produktionsstruktur vorgegebenen Möglichkeiten im Mittelpunkt. Durch den Aufbau einer Regelkreisstruktur soll erreicht werden, dass Make-or-Buy Entscheidungen stets unter Berücksichtigung des innerbetrieblichen Rationalisierungspotenzials getroffen werden.

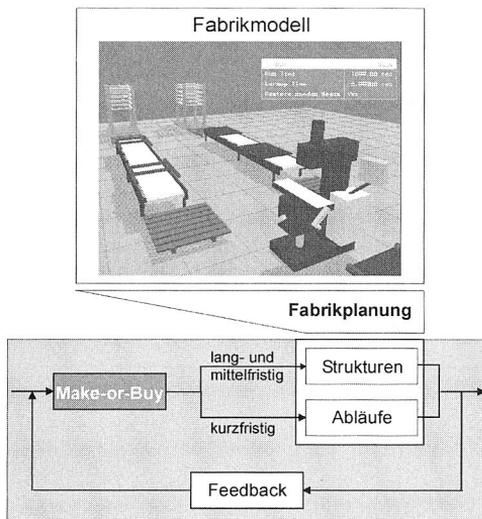


Bild 59: Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse

Zur Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse werden zwei unterschiedliche Strategien verfolgt: Einerseits wird die Ablaufsimulation zur Unterstützung herangezogen, andererseits wird aufbauend auf

den Ergebnissen der Ablaufsimulation ein einfaches, analytisches Berechnungsverfahren zur Analyse der Auswirkungen hergeleitet. Zunächst jedoch sollen verschiedene Ansätze zur Strukturierung von Produktionsprozessen in der Elektronikproduktion im Maschinenbau vorgestellt werden.

4.4.1 Ansätze zur Strukturierung von Produktionsprozessen in der Elektronikproduktion

In Kapitel 4.2 wurden im Zusammenhang mit den Maßnahmen im Rahmen der Planung von Produktionsstrukturen bereits mehrere Grundkonzepte der Fertigungsstrukturierung in der Elektronikproduktion diskutiert. Dabei wurden die Grundstrukturen Zentralbestückung, Produktlinien, ABC-Teile-Linien und Technologielinien anhand von Bewertungskriterien einander gegenübergestellt. Im weiteren Verlauf der Arbeit soll zwischen den drei Linienkonzepten Inline, Online und Offline unterschieden werden (Bild 60, [71]).

Das heute am weitesten verbreitete Linienkonzept ist die Inline-Produktionsstruktur. Bei diesem Konzept sind die Bearbeitungsstationen in der von der elektronischen Baugruppe zu durchlaufenden Prozessreihenfolge angeordnet. Direkt verbunden sind die Stationen durch ein Transportband.

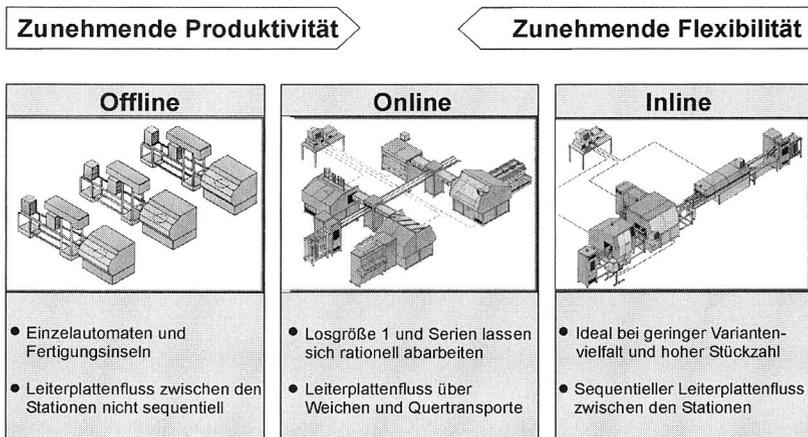


Bild 60: Linienkonzepte in der Elektronikproduktion

Die Offline-Produktionsstruktur ist überwiegend in einem Fertigungsumfeld mit hohem THD-Bestückanteil vorzufinden. Einzelne Maschinen oder zu Inseln gruppierte Einheiten stellen die Kernelemente dieser Struktur dar. Durch den flexiblen Leiterplattenfluss zwischen den einzelnen Bereichen wird ein Höchstmass an Flexibilität bei

vergleichsweise niedriger Produktivität erreicht. Dies geht allerdings im Vergleich zu einer Inline-Produktionsstruktur zu Lasten der Produktivität.

In der flexiblen Produktion kleiner Losgrößen ist häufig die Online-Produktionsstruktur vorzufinden. Hier wird versucht, die Nachteile der oben genannten Konzepte zu kompensieren und auf Losgrößenschwankungen sehr flexibel zu reagieren. Bei diesem Linienkonzept sind die einzelnen Fertigungsstationen mit einer zentralen Transportstrecke verknüpft.

Die Fertigungsanlagen bestimmen sich im Wesentlichen aus dem zu verarbeitenden Produktspektrum, dem Mengengerüst und den räumlichen Gegebenheiten. Entsprechend den Anforderungen können die Linienkonzepte auch miteinander kombiniert und verknüpft werden. Somit sind flexible Produktionsanlagen mit allen Kombinationen der verfahrenstechnischen Fertigungsabläufe und Leiterplattenflussgestaltung zu realisieren [63].

4.4.2 Anforderungen an das Simulationsmodell zur Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse

Bei der Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse sind mehrere Einflussgrößen zu berücksichtigen: Neben den dynamischen Zusammenhängen zwischen Auslastung, Beständen, Rüst- und Bearbeitungszeiten sowie der logistischen Leistung sind das Produktspektrum mit Blick auf die Auswahl zukunftsreicher Bestücktechnologien, das Mengengerüst sowie der Komplexitätsgrad einzelner Produkte von zentraler Bedeutung. Im Gegensatz zu rein statischen Planungsmethoden ermöglicht der Einsatz der Ablaufsimulation eine wesentlich exaktere und komplexere Analyse und Synthese der Untersuchungsobjekte [39, 86].

Aus der Vielzahl von Wechselwirkungen zwischen Make-or-Buy Entscheidungen und klassischen Fragestellungen der Fabrikplanung ergibt sich die Notwendigkeit, schnell veränderbare Modelle zu entwickeln, diese zu simulieren, das Modellverhalten zu analysieren und die Ergebnisse einheitlich auszuwerten. Die Ablaufsimulation erweist sich bei der Gegenüberstellung umfangreicher Produktionsprogramme, die aus unterschiedlichen Make-or-Buy Strategien resultieren, als besonders vorteilhaft.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Simulationswerkzeug QUEST von Deneb eingesetzt (Bild 61). QUEST bietet für die speziellen Untersuchungsaspekte eine sehr gut geeignete Modellierungsplattform. Die grafische Modellierungstechnik ermöglicht eine rasche Modellierung von Systemelementen und ihrem dynamischen Verhalten. QUEST ist ein System für ereignisgesteuerte Materialfluss-Simulationen. Die erarbeiteten Ergebnisse können während der Simulation grafisch dargestellt und Fertigungsabläufe zu jedem Zeitpunkt interaktiv geändert werden.

Wesentliche Modellelemente sowie die Steuerungslogik des zur Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse aufgebauten Simulationsmodells werden in Kapitel 6.3 noch ausführlich dargestellt.

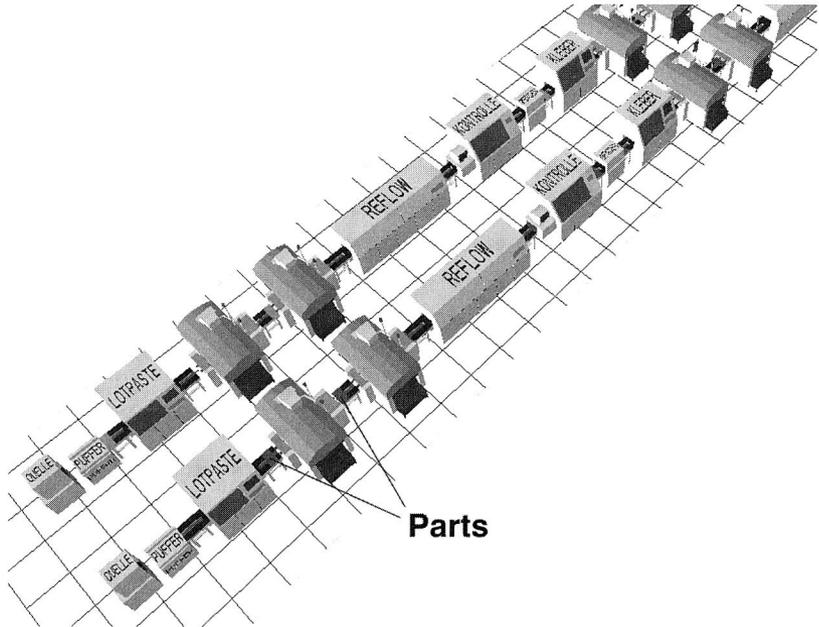


Bild 61: Ausschnitt des aufgebauten Simulationsmodells

4.4.3 Entwicklung eines analytischen Berechnungsverfahrens zur Ermittlung der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse

Zur Beurteilung der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse erweist sich die Ablaufsimulation für Unternehmen, die über keine ausreichende Simulationskompetenz verfügen, häufig als zu aufwendig und detailliert.

Als Alternative zu aufwendigen Simulationsstudien bieten sich sogenannte logistische Kennlinien oder Betriebskennlinien an [88, 147]. Betriebskennlinien quantifizieren in Abhängigkeit von betriebsspezifischen Rahmenbedingungen die Wirkungszusammenhänge zwischen den Zielgrößen Durchlaufzeit, Bestand und Leistung eines Produktionssystems.

Betriebskennlinien haben sich in der betrieblichen Praxis bisher noch nicht vollständig durchsetzen können. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass die Darstellung in Form von Betriebskennlinien umfangreiche Erfahrungen im Umgang mit der Kennlinientechnik voraussetzt und somit keine wesentliche Vereinfachung im Vergleich zur Interpretation von Simulationsergebnissen darstellt. Betriebskennlinien stellen ganz zweifelsfrei ein mächtiges Werkzeug zur Beschreibung des Systemverhaltens komplexer Fertigungsstrukturen dar, sind aber für die Analyse der häufig starr verketteten Linienkonzepte in der Elektronikproduktion zu komplex.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen dieser Arbeit aufbauend auf den Ergebnissen der Ablaufsimulation ein einfaches, analytisches Berechnungsverfahren zur Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse hergeleitet.

Das analytische Berechnungsverfahren setzt auf den gleichen Inputgrößen auf wie die Simulation. Ausgangspunkt der entwickelten Analytik sind die in Kapitel 4.4.1 vorgestellten Linienkonzepte in der Elektronikproduktion. Dementsprechend werden die Fälle INLINE/ONLINE und OFFLINE unterschieden. Im Fall INLINE/ONLINE sind alle Maschinen über eine Fördereinrichtung (Band) starr miteinander verbunden. Eine Gruppe von starr verbundenen Maschinen wird im Folgenden Station genannt. Eine INLINE-Fertigungseinrichtung besteht somit nur aus einer Station, mit einer Quelle für die Baugruppen am Anfang und einer Senke für die Baugruppen am Ende.

Dem gegenüber besteht eine OFFLINE-Fertigungseinrichtung aus mindestens zwei Stationen. Die Baugruppen werden chargenweise in Boxen von Station zu Station transportiert. An jeder Station ist eine Quelle vorhanden, die die Boxen entlädt, Chargenquelle genannt, und eine Senke, die die Boxen wieder belädt. Am Anfang der OFFLINE-Fertigungseinrichtung steht eine Quelle für die Boxen, Boxquelle genannt, und am Ende steht eine Senke für die Boxen. Das gesamte Los ist also aufgeteilt in einzelne Chargen, die in jeweils einer Box zwischen den Stationen transportiert werden. Um die Berechnungen zu vereinfachen, wird angenommen, dass jede Charge gleich groß ist, also jede Box mit der gleichen Anzahl an Baugruppen gefüllt ist.

Im Folgenden soll das entwickelte analytische Berechnungsverfahren vorgestellt werden. Aufbauend auf den Ergebnissen der Ablaufsimulation und theoretischen Überlegungen werden für die Fälle INLINE/ONLINE und OFFLINE die Berechnungsformeln zur Ermittlung von Durchlaufzeit, produzierte Menge und Auslastung hergeleitet.

Berechnung der Durchlaufzeit für vorgegebene Losgrößen

INLINE / ONLINE

Durchlaufzeit pro Baugruppe

$$t_{BG} = \sum_{i=1}^{nM} t_{bearb,i} + \sum_{i=1}^{nM+1} \frac{s_i}{v_i}$$

mit

t_{bearb} : Bearbeitungszeit in einer Maschine

nM : Anzahl der Maschinen (Bearbeitungsschritte) in der Linie

s : Weg zwischen zwei benachbarten Maschinen

v : Geschwindigkeit des Bandes zwischen den zwei Maschinen

Durchlaufzeit pro Los

$$t_{LOS} = t_{BG} + (n_{LOS} - 1) \cdot t_{QLOS}$$

$$t_{LOS} = \sum_{i=1}^{nM} t_{bearb,i} + \sum_{i=1}^{nM+1} \frac{s_i}{v_i} + (n_{LOS} - 1) \cdot t_{QLOS}$$

n_{LOS} : Losgröße

t_{QLOS} : Taktzeit der Baugruppenquelle (= Linie)

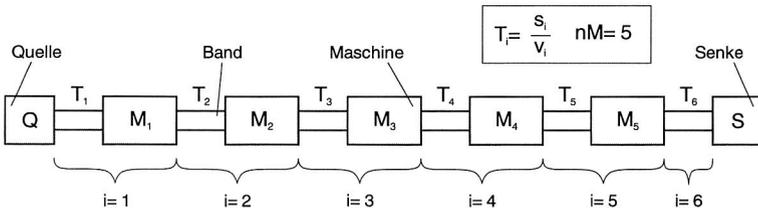


Bild 62: Bedeutung der Parameter der Formel zur Berechnung der Durchlaufzeit bei einem INLINE-Prozess

Die Bedeutung der einzelnen Parameter zeigt Bild 62 an einem Beispiel mit fünf verketteten Maschinen. Das Zustandekommen der Formel für die Durchlaufzeit eines INLINE-Loses veranschaulicht Bild 63 anhand des Beispiels mit fünf Maschinen.

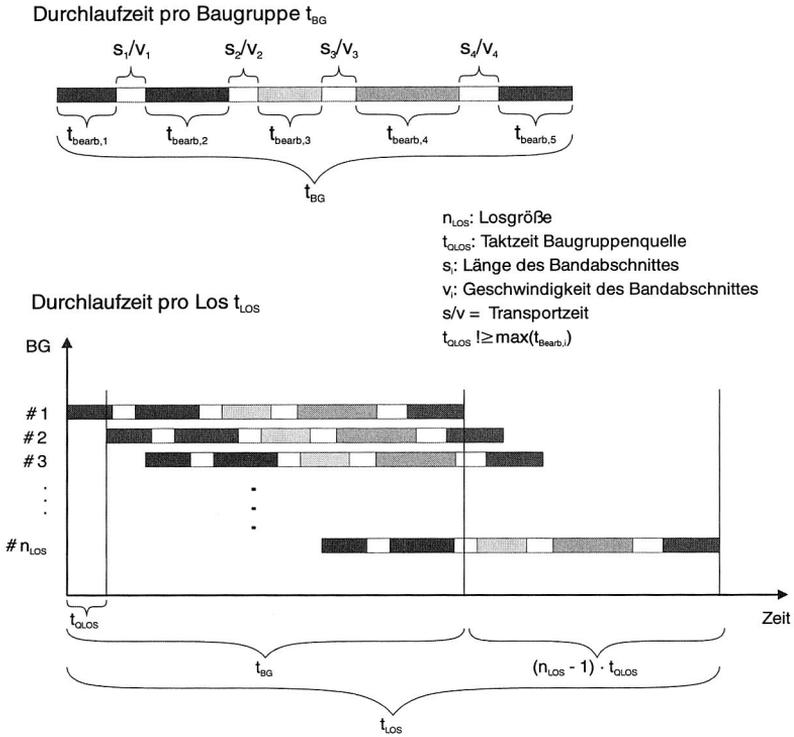


Bild 63: Zusammensetzung der Durchlaufzeit pro Baugruppe und pro Los bei einem INLINE-Prozess

OFFLINE

$$t_{BG} = \sum_{i=1}^{nM} t_{bearb,i} + \sum_{i=1}^{nM+1} \frac{s_i}{v_i}$$

mit

$t_{bearb,i}$: Bearbeitungszeit in einer Maschine

nM : Anzahl der Maschinen (Bearbeitungsschritte) in der Linie

s : Weg zwischen zwei benachbarten Maschinen

v : Geschwindigkeit des Bandes zwischen den zwei Maschinen

Durchlaufzeit pro Box durch eine Linie

$$t_{\text{BOX}} = t_{\text{BG}} + (n_{\text{CHA}} - 1) \cdot t_{\text{QCHA}}$$

mit

n_{CHA} : Anzahl der Baugruppen in einer Box (Chargengröße)

t_{QCHA} : Taktzeit der Chargenquelle (Entladen der BG aus der Box; = Linie)

Durchlaufzeit pro Box durch alle Linien

$$t_{\text{BOX,GES}} = \sum_{j=1}^{nL} t_{\text{BOX},j} + \sum_{j=1}^{nL-1} t_{\text{TBOX},j}$$

mit

nL : Anzahl der Linien

t_{BOX} : Durchlaufzeit pro Box durch eine Linie

t_{TBOX} : Transportzeit der Box zur nächsten Linie

Durchlaufzeit pro Los

$$t_{\text{LOS}} = t_{\text{BOX,GES}} + (n_{\text{BOX}} - 1) \cdot t_{\text{QBOX}}$$

$$t_{\text{LOS}} = \sum_{j=1}^{nL} \left(\sum_{i=1}^{nM} t_{\text{bearb},ji} + \sum_{i=1}^{nM+1} \frac{s_{ji}}{v_{ji}} + (n_{\text{CHA}} - 1) \cdot t_{\text{QCHA},j} \right) + \sum_{j=1}^{nL-1} t_{\text{TBOX},j} + (n_{\text{BOX}} - 1) \cdot t_{\text{QBOX}}$$

mit

n_{BOX} : Anzahl der Boxen

n_{CHA} : Anzahl der Baugruppen pro Box

t_{QBOX} : Taktzeit der Boxquelle (= Anlage)

$t_{\text{QCHA},j}$: Taktzeit der Chargenquelle je Station (= Linie)

$t_{\text{TBOX},j}$: Transportzeit der Box zwischen den Stationen

nL : Anzahl der Linien

nM : Anzahl der Maschinen je Linie

Die Bedeutung der einzelnen Parameter zeigt Bild 64 an einem Beispiel mit drei einzelnen Linien mit je einer, drei bzw. zwei verketteten Maschinen.

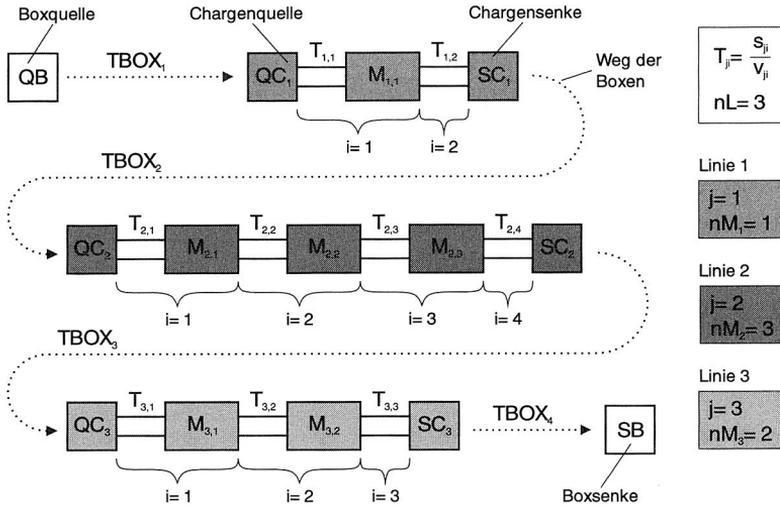


Bild 64: Bedeutung der Parameter der Formel zur Berechnung der Durchlaufzeit bei einem OFFLINE-Prozess

Abschätzung des Fehlers

Da bei den vorliegenden Formeln angenommen wird, dass auch die letzte Charge die gleiche Größe hat wie die vorangegangenen (die Box ganz voll ist), muss eine Aussage über den dabei gemachten Fehler getroffen werden.

Wie in Bild 65 zu sehen, ist es aufgrund der zwischen den Stationen auftretenden Wartezeiten nicht möglich, nur die Zeitdifferenz der letzten und vorletzten Charge beim Durchlauf durch die letzte Station als Fehlermaß heranzuziehen. Offensichtlich liegt der Fehler Δt_{LOS} zwischen 0 und der Taktzeit t_{QBOX} der Boxquelle. Da auch die letzte Charge erst anschließend an die vorhergehende Charge bearbeitet werden kann, verringert sich der maximale Fehler von t_{QBOX} auf $t_{QBOX} - t_{BOX,min}$. Dabei ist $t_{BOX,min}$ die Durchlaufzeit der letzten Charge durch die letzte Station.

$$t_{BOX,min} = t_{BG} + (n_{CHA,min} - 1) \cdot t_{QCHA}$$

mit $n_{CHA,min}$ als die Größe der letzten Charge.

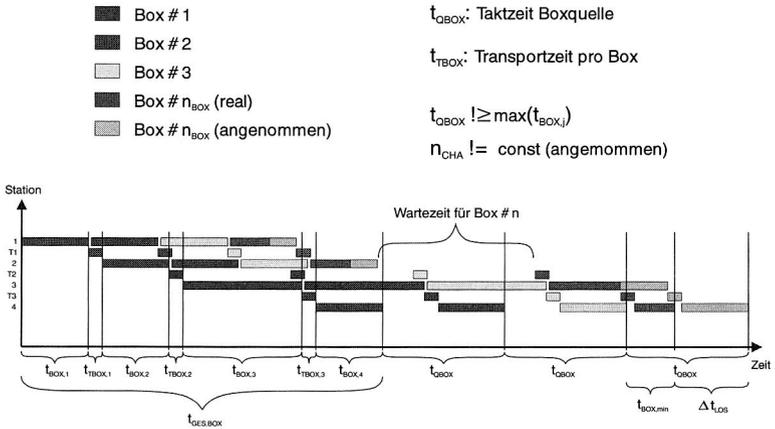


Bild 65: Zusammensetzung der Durchlaufzeit pro Los bei einem OFFLINE-Prozess

Berechnung der produzierten Menge bei vorgegebener Zeit

INLINE / ONLINE

Die Gleichung für die Durchlaufzeit eines Loses

$$t_{LOS} = t_{BG} + (n_{LOS} - 1) \cdot t_{QLOS}$$

$$t_{LOS} = t_{BG} - t_{QLOS} + t_{QLOS} \cdot n_{LOS}$$

entspricht einer linearen Gleichung der Form

$$y = a \cdot x + b$$

mit

$$a = t_{QLOS} \quad \text{und} \quad b = t_{BG} - t_{QLOS}$$

$$x = \frac{1}{a} \cdot (y - b)$$

Die ursprünglichen Parameter wieder eingesetzt ergibt sich

$$n_{LOS} = \frac{1}{t_{QLOS}} \cdot (t_{LOS} - t_{BG} + t_{QLOS})$$

Somit lässt sich die Anzahl n_{LOS} der in der vorgegebenen Zeit t_{LOS} hergestellten Bau-
gruppen berechnen (Bild 66).

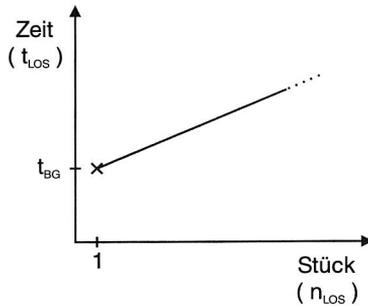


Bild 66: Linearer Zusammenhang zwischen Losgröße und Durchlaufzeit bei einem INLINE-Prozess

OFFLINE

Die Gleichung für die Durchlaufzeit eines Loses lautet

$$t_{\text{LOS}} = t_{\text{BOX,GES}} + (n_{\text{BOX}} - 1) \cdot t_{\text{QBOX}}$$

$$t_{\text{LOS}} = \sum_{j=1}^{nM} t_{\text{BOX},j} + \sum_{j=1}^{nM+1} t_{\text{TBOX},j} + (n_{\text{BOX}} - 1) \cdot t_{\text{QBOX}}$$

$$t_{\text{LOS}} = \sum_{j=1}^{nM} (t_{\text{BG},j} + (n_{\text{CHA}} - 1) \cdot t_{\text{CHA},j}) + \sum_{j=1}^{nM+1} t_{\text{TBOX},j} + (n_{\text{BOX}} - 1) \cdot t_{\text{QBOX}}$$

$$t_{\text{LOS}} = \sum_{j=1}^{nM} t_{\text{BG},j} + (n_{\text{CHA}} - 1) \cdot \sum_{j=1}^{nM} t_{\text{QCHA},j} + \sum_{j=1}^{nM+1} t_{\text{TBOX},j} + (n_{\text{BOX}} - 1) \cdot t_{\text{QBOX}}$$

$$t_{\text{LOS}} = \sum_{j=1}^{nM} t_{\text{BG},j} + n_{\text{CHA}} \cdot \sum_{j=1}^{nM} t_{\text{QCHA},j} - \sum_{j=1}^{nM} t_{\text{QCHA},j} + \sum_{j=1}^{nM+1} t_{\text{TBOX},j} + n_{\text{BOX}} \cdot t_{\text{QBOX}} - t_{\text{QBOX}}$$

$$t_{\text{LOS}} = \sum_{j=1}^{nM} (t_{\text{BG},j} - t_{\text{CHA},j}) + \sum_{j=1}^{nM+1} t_{\text{TBOX},j} - t_{\text{QBOX}} + n_{\text{CHA}} \cdot \sum_{j=1}^{nM} t_{\text{QCHA},j} + n_{\text{BOX}} \cdot t_{\text{QBOX}}$$

Die Gleichung für die Durchlaufzeit entspricht einer Gleichung der Form

$$y = a \cdot x_1 + b \cdot x_2 + c$$

mit

$$x_1 = n_{\text{BOX}} \quad \text{und} \quad x_2 = n_{\text{CHA}}$$

$$a = t_{\text{QBOX}}, \quad b = \sum_{j=1}^{nM} t_{\text{QCHA},j} \quad \text{und} \quad c = \sum_{j=1}^{nM} (t_{\text{BG},j} - t_{\text{CHA},j}) + \sum_{j=1}^{nM+1} t_{\text{TBOX},j} - t_{\text{QBOX}}$$

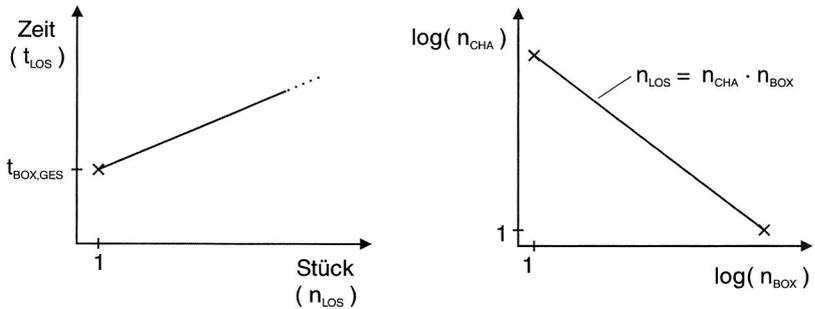


Bild 67: Linearer Zusammenhang zwischen Losgröße und Durchlaufzeit bei einem OFFLINE-Prozess

Hierbei handelt es sich um eine Gleichung mit drei Variablen, für die Darstellung des Graphen wären drei Dimensionen notwendig. Unter der Annahme, dass die Anzahl der Baugruppen pro Box n_{CHA} aufgrund der Vorgaben durch die Fertigungseinrichtungen stets gleich bleibt, lässt sich die Gleichung jedoch vereinfachen (Bild 67).

Es gilt

$$n_{LOS} = n_{CHA} \cdot n_{BOX}$$

Deshalb lässt sich n_{BOX} ersetzen durch

$$n_{BOX} = \frac{1}{n_{CHA}} \cdot n_{LOS}$$

In die Gleichung

$$t_{LOS} = a \cdot n_{BOX} + b \cdot n_{CHA} + c$$

eingesetzt folgt daraus

$$t_{LOS} = a \cdot \frac{1}{n_{CHA}} \cdot n_{LOS} + b \cdot n_{CHA} + c$$

Dies entspricht einer linearen Gleichung der Form

$$y = a \cdot \frac{1}{k} \cdot x + b \cdot k + c$$

Die Umkehrfunktion dazu lautet

$$x = \frac{k}{a} (y - b \cdot k - c)$$

Die ursprünglichen Parameter wieder eingesetzt ergibt sich

$$n_{LOS} = \frac{1}{a} \cdot n_{CHA} \cdot (t_{LOS} - b \cdot n_{CHA} - c)$$

$$n_{LOS} = \frac{n_{CHA}}{t_{QBOX}} \cdot \left(t_{LOS} - n_{CHA} \cdot \sum_{j=1}^{nM} t_{QCHA,j} - \sum_{j=1}^{nM} (t_{BG,j} - t_{QCHA,j}) - \sum_{j=1}^{nM+1} t_{TBOX,j} + t_{QBOX} \right)$$

Berechnung der Auslastung

INLINE / ONLINE

Die Gesamtauslastung einer Maschine setzt sich zusammen aus der Auslastung der Maschine und der Auslastung der Linie.

Auslastung der Maschine

$$a_M = \frac{t_{bearb}}{t_{QLOS}}$$

mit

t_{bearb} : Bearbeitungszeit der Maschine

t_{QLOS} : Taktzeit der Linie

Auslastung der Linie

$$a_L = \frac{\sum_{i=1}^{nTAG} DLZ_i}{t_{TAG}}$$

mit

$nTAG$: Anzahl der Lose pro Tag

DLZ_i : Durchlaufzeit pro Los

t_{TAG} : mögliche Arbeitszeit pro Tag

Gesamtauslastung der Maschine

$$a_{GES} = a_M \cdot a_L$$

Mit der Gesamtauslastung a_{GES} wird später der dynamische Maschinenstundensatz berechnet.

OFFLINE

Die Auslastung der Maschinen a_M , die Auslastung der Linien a_L und die Gesamtauslastung a_{GES} werden für OFFLINE-Prozesse ebenso berechnet wie für INLINE-Prozesse. Nach gegenwärtigem Wissenstand ist nicht zu erwarten, dass die Eigenheiten der OFFLINE-Prozesse die Güte der Berechnungsergebnisse verschlechtern.

In Kapitel 7 werden anhand eines konkreten Beispiels Aussagen hinsichtlich der Genauigkeit des entwickelten analytischen Berechnungsverfahrens zum Nachweis der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse abgeleitet. An dieser Stelle lässt sich festhalten, dass insbesondere im Fall INLINE eine hinreichend hohe Genauigkeit gewährleistet werden kann. Aufgrund der speziellen Anforderungen der Elektronikproduktion, die der entwickelten Analytik zu Grunde liegen, ist das aufgestellte Berechnungsverfahren nicht uneingeschränkt auf Stückgutprozesse in anderen Branchen übertragbar.

4.4.4 Baustein zum Ableiten von Ansatzpunkten für die Ressourcenplanung auf Produktionsebene

Im Rahmen des Produktionsmanagements existiert bereits eine Vielzahl von Konzepten und Verfahren zur Ressourcenplanung in den Fertigungsbereichen [47, 85, 128, 148]. Gemeinsames Element neuerer Ansätze zur Ressourcenplanung ist das Herstellen eines aktuellen Bildes über den Stand von Fertigungsaufträgen, Maschinenbelegung und Personaleinsatz. Dies ermöglicht es, kurzfristig situationsabhängig in die Produktionsabläufe einzugreifen, die Kapazitäten besser auszulasten und den Auftragsdurchlauf zu beschleunigen. Aufgrund der fehlenden Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene bleiben die Ergebnisse dieser Ansätze für die Ressourcenplanung im Zusammenhang mit Make-or-Buy Entscheidungen jedoch häufig ungenutzt.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Baustein zum Ableiten von Ansatzpunkten für die Ressourcenplanung auf Produktionsebene entwickelt (Bild 68). Damit lassen sich beispielsweise auf Basis der Leistungsdaten der Simulation bzw. Analytik Produktionsprogramme identifizieren, die infolge ungünstiger Takt- oder Rüstzeiten zu einer reduzierten Kapazitätsauslastung der Bestückeinrichtungen führen. Dies könnte einerseits dazu führen, dass die identifizierten Baugruppen zukünftig fremdbezogen werden. Andererseits kann durch eine Ressourcenanpassung in den Elektronikbereichen die Kapazitätsauslastung verbessert werden.

Mit Hilfe des entwickelten Bausteins wird somit sichergestellt, dass Make-or-Buy Entscheidungen stets unter Berücksichtigung des innerbetrieblichen Rationalisierungs-

potenzials getroffen werden. Dadurch wird es möglich, bei der Beurteilung von Make-or-Buy Strategien die Ressourcenbelastung zu berücksichtigen, zeitliche und kapazitive Engpassituationen zu identifizieren sowie Ansatzpunkte für mögliche Investitionen aufzuzeigen.

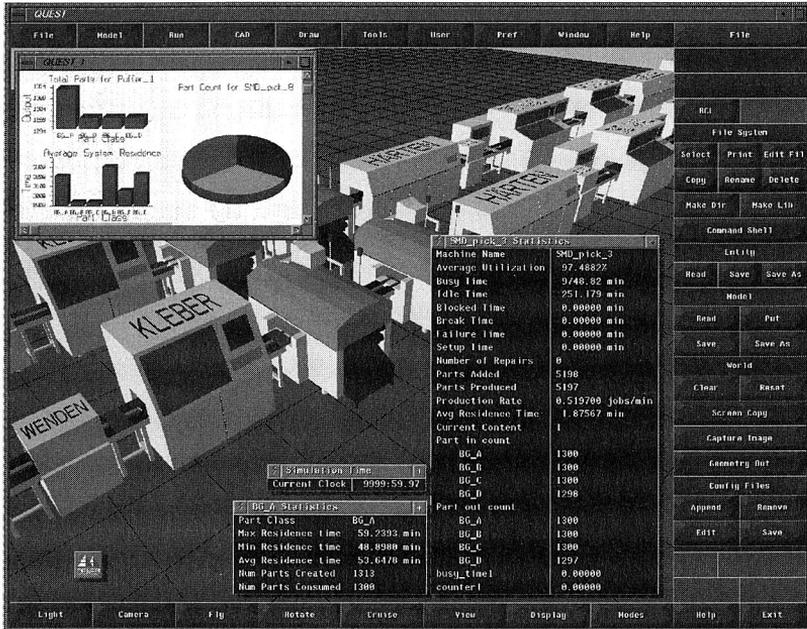


Bild 68: Ableiten von Ansatzpunkten für die Ressourcenplanung

4.5 Modul zum Prozess-Engineering in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau

Auf Grundlage der soeben beschriebenen Ansätze zur Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die fertigungsunterstützenden Prozesse und die Fertigungsprozesse wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Modul zum Prozess-Engineering in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau entwickelt.

Die zentrale Aufgabe dieses Moduls besteht darin, das Produktionsmanagement auf der taktisch-operativen Ebene zu unterstützen, um dadurch schnellstmöglich und zuverlässig auf technologische und kapazitive Veränderungen reagieren zu können. Der Einsatz von Simulationwerkzeugen trägt dazu bei, die Risiken infolge von Fehlentscheidungen zu reduzieren. Darüber hinaus liefert die Simulation wertvolle Daten

aus der Prozessebene, beispielsweise zur Beurteilung der Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien.

Zunächst soll der Aufbau des Moduls zum Prozess-Engineering beschrieben werden. Darauf aufbauend werden die wesentlichen Auswertungen und Ergebnisdarstellungen aufgezeigt, die in dem Modul zum Prozess-Engineering vorgesehen sind, um die Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien auf die Prozessebene transparent zu machen. Die softwaretechnische Umsetzung des Moduls zum Prozess-Engineering ist Gegenstand von Kapitel 6.

4.5.1 Vorgehensweise im Rahmen des Prozess-Engineerings

Ausgangspunkt aller Überlegungen im Rahmen des Prozess-Engineerings sind die Prozessmodelle der Geschäfts- bzw. Produktionsprozesse einschließlich der Produktionsressourcen (Bild 69). Der durchgängige Modellierungsansatz auf Grundlage des entwickelten Branchenprozessmodells unterstützt eine durchgängige Kommunikation aller Unternehmensbereiche entlang der logistischen Kette.

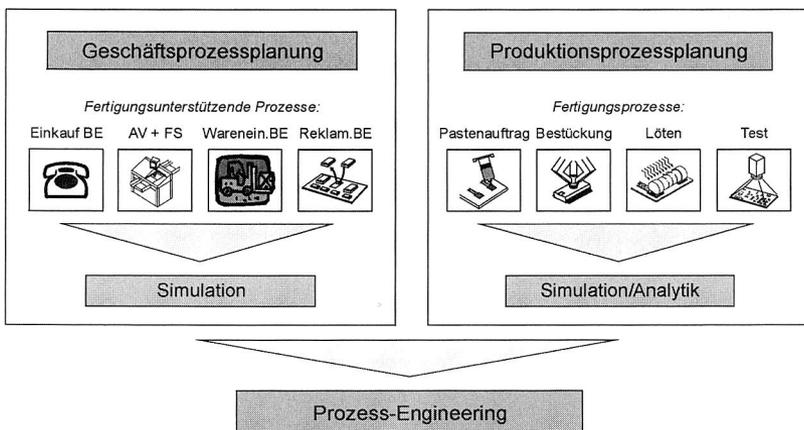


Bild 69: Integration von Geschäfts- und Produktionsprozessen im Modul zum Prozess-Engineering

Neben den Produktionsressourcen müssen auch die Produkte modelliert werden. Zu den Produkten gehören alle elektronischen Baugruppen, die unternehmensinternen Prozesse auslösen können, also neben den eigenzufertigenden elektronischen Baugruppen auch Produkte, die sich noch in der Entwicklung befinden sowie Produkte, die fremdbezogen werden.

Darauf aufbauend werden die in den Prozessmodellen abgebildeten Prozessketten mit unterschiedlichen Produktionsprogrammen beaufschlagt. Die zu untersuchenden Produktionsprogramme sind beispielsweise das Ergebnis alternativer Make-or-Buy Strategien als Reaktion auf technologische oder kapazitive Veränderungen. Die für die Zusammenstellung der unterschiedlichen Produktionsprogramme erforderlichen Daten, wie z.B. Mengen und Termine, werden vom PPS-System zur Verfügung gestellt. Im Gegensatz zu der üblichen Begriffsdefinition umfasst das Produktionsprogramm zusätzlich auch die in einem bestimmten Betrachtungszeitraum fremdbezogenen elektronischen Baugruppen. Dies ist erforderlich, weil die fremdbezogenen Baugruppen in den fertigungsunterstützenden Prozessen in der Buy-Prozesskette einen Aufwand verursachen.

Die simulative bzw. analytische Untersuchung der Szenarien erfolgt auf Grundlage der aufgestellten Prozessmodelle. In der anschließenden Ergebnisauswertung werden auf Basis der Leistungsdaten der Simulation bzw. Analytik die aus den alternativen Make-or-Buy Strategien resultierenden Produktionsprogramme hinsichtlich der für die Durchführung der Fertigungsprozesse bzw. fertigungsunterstützenden Prozesse erforderlichen Durchlaufzeiten, Ausbringungsmengen und Kapazitätsauslastung bewertet. Auf die Vorteile der Simulation bei der Beschaffung wertvoller Daten aus der Prozessebene wurde bereits in Kapitel 4.1.3 hingewiesen. Aufbauend auf den Leistungsdaten der Simulation werden entsprechende Maßnahmen zur Ressourcenplanung in den fertigungsunterstützenden Prozessen bzw. Fertigungsprozessen eingeleitet.

4.5.2 Auswertungen und Ergebnisdarstellungen

Im Folgenden sollen exemplarisch die Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien auf die fertigungsunterstützenden Prozesse und die Fertigungsprozesse dargestellt werden.

In Bild 70 ist anhand eines Beispiels die prozessorientierte Bewertung der Prozessketten Make und Buy für die fertigungsunterstützenden Prozesse dargestellt. In der linken Hälfte ist ein Ausschnitt von der in ARIS modellierten Teilprozesskette Fertigungssteuerung gezeigt. Die Teilprozesskette Fertigungssteuerung ist Bestandteil der Make Prozesskette im Rahmen der fertigungsunterstützenden Prozesse. In der rechten oberen Bildhälfte sind Teile des Ergebnisses der Geschäftsprozesssimulation in Form einer Funktionsstatistik dargestellt. Aus der Differenz von Start- und Stopzeiten lässt sich ermitteln, wie viel Zeit für einen Funktionsaufruf im Rahmen der Prozesskette angefallen ist. Aus der Summation der Prozesszeiten entsprechend der Prozesshäufigkeit resultiert die Gesamtbearbeitungszeit bezogen auf das zu Grunde gelegte Produktionsprogramm. Die untere Darstellung zeigt eine Auswertung der Prozesszeiten, die für eine konkrete Baugruppe in den jeweiligen fertigungsun-

terstützenden Bereichen im Fall Make bzw. im Fall Buy anfallen. Während im Fall Make der größte zeitliche Aufwand in der Teilprozesskette Fertigungssteuerung entsteht, ist im Fall Buy die Teilprozesskette Kommissionierung den größten Zeitblock dar. Anhand dieser Darstellung wird deutlich, dass beispielsweise der Übergang von Eigenfertigung auf Fremdbezug einer elektronischen Baugruppe zu einer Aufwandsverlagerung in den fertigungsunterstützenden Bereichen führt. Die prozessorientierte Bewertung der Prozessketten Make und Buy stellt eine gute Basis für eine verursachungsgerechte Ermittlung und Verrechnung der Kosten in den fertigungsunterstützenden Bereichen dar. Dazu wird in Kapitel 5 ein Kostenrechnungsmodul entwickelt.

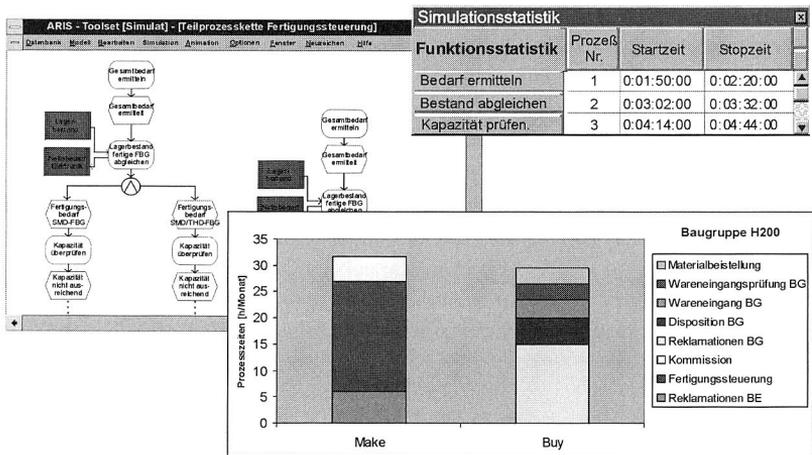


Bild 70: Prozessorientierte Bewertung der Prozessketten Make und Buy

In Bild 71 sind die Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien auf die Produktionsprozesse dargestellt. In der linken Bildhälfte ist der Ausschnitt eines in QUEST aufgebauten Simulationsmodells dargestellt. In dem hier gewählten Beispiel umfasst das Produktionssystemmodell zwei Bestücklinien, die in einer Inline-Produktionsstruktur angeordnet sind. Die beiden Bestückautomaten SMD1 und SMD2 der Linie 1 befinden sich im Vordergrund, die beiden Bestückautomaten SMD3 und SMD4 der Linie 2 befinden sich im Hintergrund. Das zu fertigende Produktprogramm umfasst fünf elektronische Baugruppen. Im Folgenden sollen das Produktionsprogramm 1, wo die Produkte A, B und C eigengefertigt und die elektronischen Baugruppen D und E fremdbezogen werden, sowie das Produktionsprogramm 3, wo die Produkte A, B, C und D eigengefertigt und die elektronische Baugruppe E fremdbezogen werden, näher betrachtet werden. In der rechten oberen Bildhälfte ist als

Ergebnis der Ablaufsimulation die Ausbringungsmenge über sechs verschiedene Produktionsprogramme dargestellt. Die untere Darstellung zeigt einen Vergleich der Kapazitätsauslastungen der Bestückautomaten der Linien 1 und 2 über die Produktionsprogramme 1 und 3. Es ist erkennbar, dass auch dann, wenn die Baugruppe C zusätzlich auf der Linie 1 gefertigt wird, die Kapazitätsauslastungen der Bestückautomaten SMD1 und SMD2 der Linie 1 nicht die Auslastungsgrenze überschreiten. Dem gegenüber sinken die Kapazitätsauslastungen der Bestückautomaten SMD3 und SMD4 auf der Linie 2, da die Montage der Baugruppe D aufgrund des höheren THD-Anteils zu mehr Störungen führt.

Simulationswerkzeug QUEST

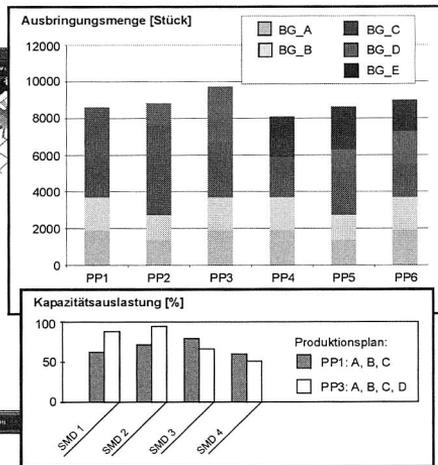
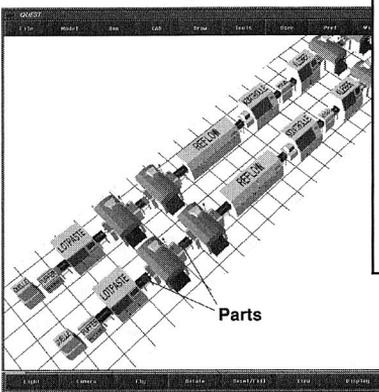


Bild 71: Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien auf die Produktionsprozesse

5 Modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion

Mit dem Ziel, das Produktionsmanagement sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Ebene zu unterstützen und damit die Wandlungsfähigkeit der Unternehmen zu erhöhen, sollen im Folgenden das in Kapitel 3 entwickelte Modul zum Make-or-Buy Management und das in Kapitel 4 entwickelte Modul zum Prozess-Engineering zu einem modularen Planungswerkzeug integriert werden (Bild 72). Wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, liegt ein wesentliches Defizit der bisherigen Ansätze und Verfahren zum Produktionsmanagement in der fehlenden Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene. Gegenstand dieses Kapitels ist die Integration der beiden entwickelten Module über ein gemeinsames Datenmodell zu einem modularen Planungswerkzeug.

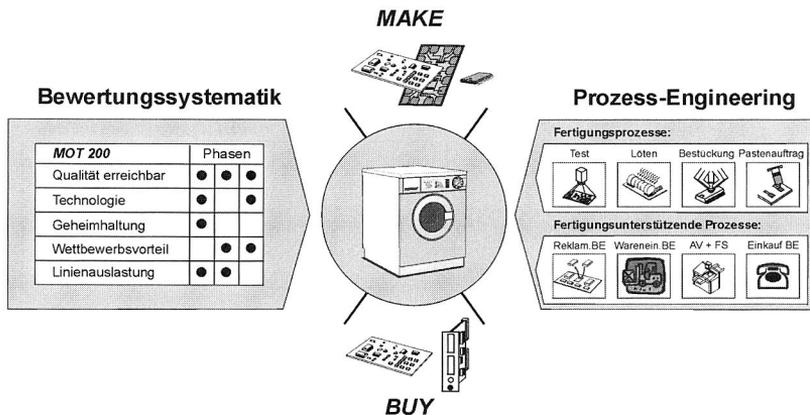


Bild 72: Bausteine des modularen Planungswerkzeuges zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion im Maschinenbau

Zentrale Voraussetzung für ein schnelles Reagieren auf technologische oder kapazitive Veränderungen sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Ebene ist ein gemeinsames Zielsystem, das auch für das Benchmarking von Make-or-Buy relevanten Größen herangezogen werden kann.

Um eine Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Make-or-Buy Strategien unter Berücksichtigung des nach einer innerbetrieblichen Optimierung erreichbaren Kostensenkungspotenzials herzustellen, wird auf der Basis des in Kapitel 4.1.2 vorgestellten Branchenprozessmodells ein Kostenmodell entwickelt. Das Kostenmodell ermöglicht eine Simulation der resultierenden Kostenstrukturen sowohl der Fertigungs-

prozesse als auch der fertigungsunterstützenden Prozesse auf der Grundlage von Linien-, Maschinen- und Prozesskostensätzen.

Abschliessend wird im Rahmen dieses Kapitels das entwickelte, modulare Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion im Maschinenbau auf Produktionsnetze erweitert. Durch diese zusätzliche Dimension der Wandlungsfähigkeit wird der Zugriff auf Technologien, die im Unternehmen nicht vorhanden sind, erleichtert sowie der Ausgleich von Belastungsschwankungen unterstützt.

5.1 Integration von Make-or-Buy Management und Prozess-Engineering zu einem modularen Planungswerkzeug

Wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, spielt sich das Produktionsmanagement auf unterschiedlichen Entscheidungsebenen ab. Je nach der Bedeutung für das Unternehmen, den Auswirkungen auf andere Unternehmensbereiche, dem Umfang der mit dem Produktionsmanagement verbundenen Maßnahmen und den betrachteten Zeiträumen sind die anfallenden Entscheidungen der strategischen oder der taktisch-operativen Entscheidungsebene zuzuordnen.

Während der strategischen Ebene insbesondere die Frage der kontinuierlichen Anpassung von Kernfähigkeiten und Kernkompetenzen sowie die rechtzeitige Bereitstellung der dazu erforderlichen internen und externen Ressourcen zuzuordnen ist, geht es auf der taktisch-operativen Ebene um die Frage der regelmäßigen Bewertung der Effizienz von betrieblichen Leistungen und Aktivitäten sowie darauf aufbauend um die Anpassung der Kapazitäten an den erforderlichen Kapazitätsbedarf (Bild 73).

Das in Kapitel 3 entwickelte Modul zum Make-or-Buy Management sieht die Möglichkeit vor, in Abhängigkeit von unterschiedlichen Make-or-Buy Objekten eine differenzierte Bewertung vorzunehmen. Wesentliche Bestandteile der aufgestellten Bewertungssystematik Make-or-Buy stellen Kriterienkataloge zur Beurteilung der Eigenentwicklungs- und Eigenfertigungsfähigkeit dar. Die zu Grunde liegende Bewertungsmethode ist das Punktwertverfahren.

Zentrales Ergebnis von Kapitel 4 ist ein Modul zum Prozess-Engineering, das die Ressourcenplanung sowohl auf der Geschäftsprozess- als auch auf der Produktionsprozessebene unterstützt. Bewertungsobjekte sind die aus unterschiedlichen Maßnahmen zum Kapazitätsabgleich resultierenden Produktionsprogramme. Um einen schnellen Zugriff auf die Daten aus der Prozessebene sicherzustellen, wurde das Werkzeug Simulation als Bewertungsmethode in das Modul zum Prozess-Engineering eingebunden. Die gleichzeitige Anwendung der Geschäftsprozess- und Ablaufsimulation unterstützt eine Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene.

Wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, handelt es sich bei den Ansätzen und Verfahren des bisherigen Produktionsmanagements meist um isolierte Einzelkonzepte. Eine Integration zwischen der Managementebene und der Prozessebene findet aufgrund der fehlenden Schnittstellen im vertikalen Informationsfluss bislang nicht statt. Dies führt dazu, dass eine Rückkopplung im Planungsprozess teilweise gar nicht, häufig jedoch nur mit einer erheblichen zeitlichen Verzögerung erfolgt. So bleiben beispielsweise im Rahmen von Make-or-Buy Analysen die nach einer innerbetrieblichen Optimierung erreichbaren Kostensenkungspotenziale unberücksichtigt. Damit wird das bisherige Produktionsmanagement den Anforderungen, die sich aus der Forderung nach einer Steigerung der Wandlungsfähigkeit der Unternehmen auf allen Ebenen ableiten lassen, nicht gerecht.

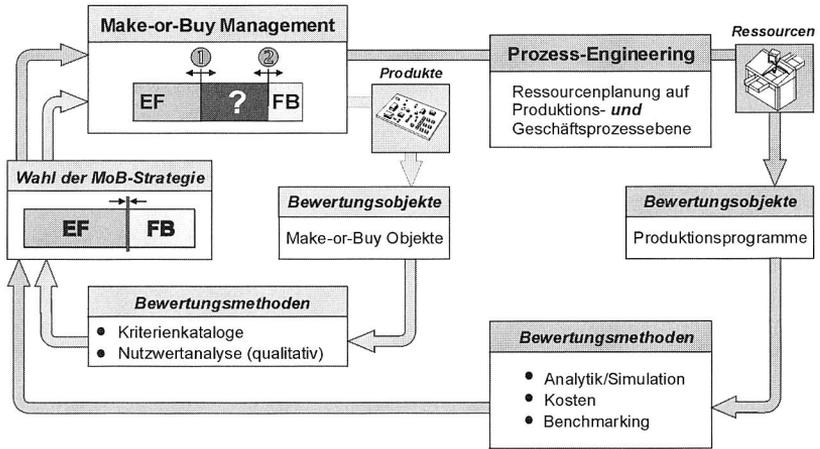


Bild 73: Zentrale Aufgaben des Produktionsmanagements und Vorgehensweise bei der Integration [38]

Zur Beseitigung dieser Defizite wird das in Kapitel 3 entwickelte Modul zum Make-or-Buy Management und das in Kapitel 4 entwickelte Modul zum Prozess-Engineering zu einem modularen Planungswerkzeug integriert. Um die Lücke zwischen strategischer und taktisch-operativer Ebene zu schließen, erfolgt die Integration der beiden entwickelten Module zu einem modularen Planungswerkzeug über ein gemeinsames Datenmodell.

Sowohl Inhalt als auch Aufbau des dem modularen Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement zu Grunde liegenden Datenmodells wird in Kapitel 6 noch ausführlich beschrieben.

5.2 Entwicklung eines Zielsystems für das Produktionsmanagement

Im Folgenden wird ein Zielsystem für das Produktionsmanagement entwickelt, das eine zentrale Voraussetzung für ein schnelles Reagieren auf technologische oder kapazitive Veränderungen auf allen Entscheidungsebenen darstellt. Das Zielsystem kann neben der Beurteilung von Veränderungen der Produktionsstrategie sowie von Maßnahmen als Reaktion auf technologische oder kapazitive Veränderungen auch für das unternehmensübergreifende Benchmarking von Make-or-Buy relevanten Größen herangezogen werden. Zunächst sollen jedoch Zielsetzung und Vorgehensweise der Benchmarkmethode vorgestellt werden.

5.2.1 Vorgehensweise Benchmarking

Ziel des Benchmarking ist es, durch den zwischenbetrieblichen Vergleich nach neuen Ideen für Methoden, Verfahren und Prozesse zu suchen. Aus der objektiven Bewertung der Leistungsfähigkeit des jeweiligen Benchmarkpartners lassen sich Maßnahmen zur schnellen Anpassung der eigenen Geschäfts- und Produktionsprozesse ableiten und so die Prozessqualität der eigenen Elektronikproduktion verbessern. Dabei werden die Unterschiede zu anderen Unternehmen offengelegt, die Ursachen für die Unterschiede aufgezeigt sowie durch das Ausweisen von Verbesserungspotenzialen wettbewerbsorientierte Zielvorgaben ermittelt [72].

Durch den Einsatz der Benchmarkmethode soll verhindert werden, dass sich die Neuausrichtung und Optimierung der in den Elektronikbereichen zu Grunde liegenden Prozesse zu stark an den bestehenden Prozessen und den vorherrschenden Rahmenbedingungen orientiert [56].

Aufbauend auf den Strukturierungsansätzen in der Literatur [53, 66, 82, 126, 124] wurde im Rahmen dieser Arbeit eine vierstufige Vorgehensweise entwickelt, die inhaltlich aus den verschiedenen bewährten Ansätzen abgeleitet und schrittweise weiterentwickelt wurde (Bild 74). In der Vorbereitungsphase erfolgt die Zielfestlegung, die Auswahl der Leistungsobjekte sowie die Festlegung der Datenerhebungsmethode. In der Analysephase werden die Daten erhoben und ausgewertet. In der Vergleichsphase werden die Daten verglichen, Leistungslücken identifiziert, die jeweiligen Ursachen erhoben sowie Maßnahmen für Verbesserungen aufgezeigt. Die Abstimmung von Verbesserungen und Projektziel sowie die Maßnahmenplanung bilden die abschließende Verbesserungsplanung.

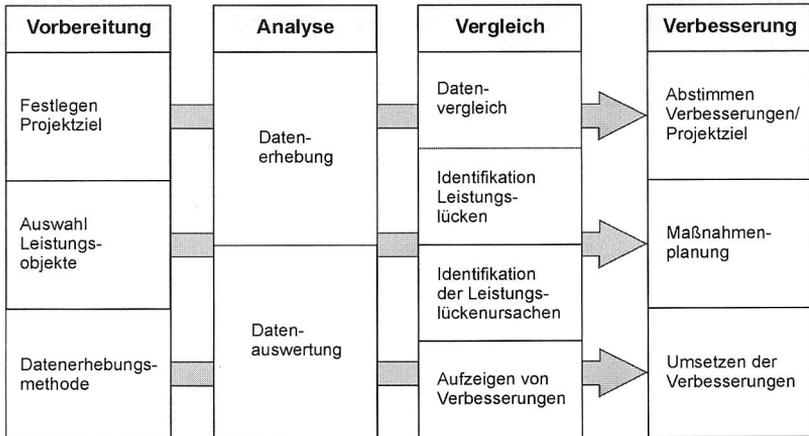


Bild 74: Die vier Phasen des Benchmarking-Prozesses

5.2.2 Bausteine des Zielsystems für das Produktionsmanagement

Aus der Zielsetzung des modernen Produktionsmanagements, die Wandlungsfähigkeit der Unternehmen sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Ebene zu steigern, lassen sich gleich mehrere Anforderungen an ein Zielsystem für das Produktionsmanagement ableiten.

Zentrale Anforderung ist die Durchgängigkeit der Ziele über alle Unternehmensebenen hinweg [116]. Das Zielsystem muss die Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Maßnahmen als Reaktion auf technologische bzw. kapazitive Veränderungen einerseits und den unmittelbaren Auswirkungen auf die Kernkompetenzen sowie die Prozessebene andererseits abdecken. Nach Mikus [83] sollte die Gewinnung der relevanten Ziele in einem strukturierten Zielbildungsprozess vorgenommen werden. Grundlage zur Bildung eines Zielsystems ist die Identifikation der Kernprozesse und ihrer kritischen Erfolgsfaktoren. Wesentliche Anforderungen an die Zielgrößen eines Zielsystems sind die Quantifizierbarkeit bzw. Messbarkeit der Ziele, d.h. die notwendigen Daten müssen ermittelt werden können [124].

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Zielsystem orientiert sich im Wesentlichen an der in Kapitel 3.2.3 aufgestellten Struktur der Bewertungssystematik Make-or-Buy. Demnach setzt sich das Zielsystem aus den vier Bausteinen Markt- und Unternehmensdaten, Produktspektrum, Fertigungsprozesse sowie fertigungsunterstützende Prozesse zusammen. In Bild 75 sind für die vier Bausteine des Zielsystems exemplarische Zielgrößen dargestellt.

Die Operationalisierung der Ziele erfolgt auf Grundlage der in Kapitel 3 aufgestellten Kriterienkataloge zur Beurteilung der Eigenentwicklungs- bzw. Eigenfertigungsfähigkeit. Darüber hinaus bietet die über das Werkzeug Simulation hergestellte Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene die Möglichkeit, auf der Grundlage dynamischer Daten eine Prozessbewertung hinsichtlich Durchlaufzeit, Kapazitätsauslastung und Ausbringungsmenge zu unterstützen. Für die Ermittlung und Verrechnung der Kosten als das Äquivalent für den notwendigen Ressourceneinsatz zur Durchführung der Prozesse wird in Kapitel 5.3 der Ansatz der simulationsgestützten Wirtschaftlichkeitsanalyse vorgestellt. Bezugspunkt ist wiederum das Branchenprozessmodell, das sowohl die fertigungsunterstützenden Prozesse als auch die Fertigungsprozesse umfasst.

Markt- und Unternehmensdaten	Fertigungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> ● Umsatzanteil Fremdbezugsbaugruppen ● Verhältnis Mitarbeiter dir./indir. ● Vorhandene / zukünftige Bestücktechnologien ● ... 	<ul style="list-style-type: none"> ● Anzahl Fertigungsaufträge ● Durchlaufzeit ● Kapazitätsauslastung der Fertigungseinrichtungen ● Linien-/Maschinenstundensätze
<ul style="list-style-type: none"> ● Stückzahlen ● Anzahl unterschiedl. Baugruppen ● Losgrößen ● Verarbeitetes Bauelementespektrum 	<ul style="list-style-type: none"> ● Prozessmenge ● Auftragsbearbeitungszeit ● Kapazitätsauslastung Kostenstellen ● Prozesskostensätze
Produktspektrum	Fertigungsunterstützende Prozesse

Das Diagramm zeigt eine horizontale Achse mit den Markierungen 0% und 100%. Ein Pfeil zeigt auf 'eigene Positionen' und ein anderer auf 'Wettbewerber'.

Bild 75: Bausteine des Zielsystems für das Produktionsmanagement

Das aufgestellte Zielsystem zum Produktionsmanagement stellt ein wichtiges Hilfsmittel zur strategischen Neuausrichtung der Kernkompetenzen, zur langfristigen Stabilisierung von Geschäfts- und Produktionsprozessen sowie zum Wettbewerbsvergleich von unternehmensinternen und -externen Prozessen dar. Die Orientierung am Zielsystem ist notwendig, weil ohne vorgegebene Ziele weder Optimierungspotenziale bei der Abwicklung von sowohl Make- als auch Buy-Prozessketten aufgedeckt noch konkrete Maßnahmen als Reaktion auf technologische und kapazitive Veränderungen im Unternehmen einander gegenübergestellt werden können. Die

Durchgängigkeit der Ziele ermöglicht das schnelle Reagieren auf veränderte Produktionsbedingungen und unterstützt rasche Entscheidungen.

5.3 Entwicklung eines Kostenmodells zur Bewertung der Auswirkungen von Make-or-Buy Strategien auf die Prozessebene

Gegenwärtig stehen zur Beurteilung von Maßnahmen im Rahmen des Produktionsmanagements technisch-logistische Parameter, wie beispielsweise die Durchlaufzeit oder die Linienauslastung im Vordergrund. Die auf diese Weise selektierten Maßnahmen stellen allerdings nicht zwangsläufig auch wirtschaftlich die beste Lösung dar [110, 129]. Da sowohl Veränderungen der Produktionsstrategie als auch Maßnahmen als Reaktion auf technologische oder kapazitive Veränderungen die Kostenstrukturen der Elektronikproduktion nachhaltig beeinflussen, werden zur Bewertung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit zusätzlich Kosteninformationen benötigt.

Wesentliche Voraussetzung für die Beurteilung von Maßnahmen im Rahmen des Produktionsmanagements ist es, sowohl bei der Definition der Kernkompetenzen als auch bei der Prozessgestaltung die Zusammenhänge zwischen Entscheidungen auf der strategischen Ebene und deren Auswirkungen auf die Prozessebene zu berücksichtigen. Eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Maßnahmen unter Berücksichtigung der auftretenden Zielkonflikte ist allerdings erst durch die Anwendung eines wirtschaftlichen Bewertungsmaßstabes möglich [117, 149].

Während die Produktionsstrukturen infolge der raschen technologischen Entwicklung in der Elektronikproduktion ständigen Änderungen unterworfen sind, hinkt die Entwicklung der Kostenrechnungssysteme weit hinterher [58, 115]. Hauptkritikpunkte der heute eingesetzten Kostenrechnungssysteme sind die mangelnde Abbildung der realen Prozesse durch die Kostenstellenstruktur und das Fehlen verursachungsgerechter Kostentreiber [54, 139]. Insbesondere werden die Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse häufig nicht oder nur durch Verwendung grober, d.h. undifferenzierter Zuschlagssätze, berücksichtigt [18, 25].

Die Prozesskostenrechnung kann als neuer Ansatz verstanden werden, die Kosten verschiedener Ressourcenarten getrennt über sogenannte Kostentreiber auf die Prozesse zu verrechnen [17, 57]. Die stärkere Differenzierung der Kosten trägt zu einer höheren Transparenz und damit zur Vermeidung von strategischen Fehlentscheidungen bei [7]. Das Verfahren und die Vorgehensweise zur Implementierung der Prozesskostenrechnung sind in der Literatur ausführlich beschrieben [57, 58, 76]. Der entscheidende Nachteil der Prozesskostenrechnung liegt darin, dass der laufende Aufwand zur Berechnung der Prozesskostensätze und der Prozessmenge unverhältnismäßig hoch ist. In Kapitel 5.3.1 wird gezeigt, wie durch den Ansatz der simula-

tionsgestützten Wirtschaftlichkeitsanalyse der Wirkungsgrad der Prozesskostenrechnung verbessert werden kann.

In Bild 76 ist die Kostenartenstruktur exemplarisch für eine elektronische Baugruppe nach der traditionellen Zuschlagskalkulation und nach der Prozesskostenrechnung dargestellt. Die genauere Aussage der Prozesskostenrechnung resultiert aus der Tatsache, dass 30-40% der ursprünglichen Gemeinkosten nunmehr leistungsmengeninduziert zugewiesen werden können.

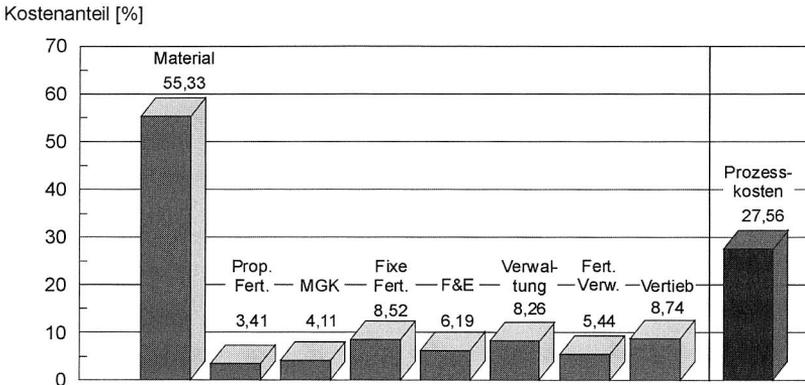


Bild 76: Selbstkostenaufteilung nach Kostenarten am Beispiel einer elektronischen Baugruppe

5.3.1 Aufstellen eines Kostenmodells für die fertigungsunterstützenden Prozesse und die Fertigungsprozesse

Analog zu dem Problem der mangelnden Verfügbarkeit von Daten aus der Prozessebene zur Beurteilung von Maßnahmen im Rahmen des Produktionsmanagements scheitert die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen an der mangelnden Verfügbarkeit und Aktualität von Kosteninformationen.

Diese Lücke soll mit dem Ansatz der simulationsgestützten Wirtschaftlichkeitsanalyse geschlossen werden. Das Ziel dieses Ansatzes besteht darin, das Werkzeug Simulation mit Elementen der Kostenrechnung zu koppeln. Dabei stellen die Leistungsdaten aus der Simulation wertvolle Eingangsinformation aus der Prozessebene dar.

Zentrale Begriffe zur simulationsgestützten Wirtschaftlichkeitsanalyse sind in der VDI-Richtlinie 3633 Blatt 7 Kostensimulation [135] festgelegt. Gemäss dieser VDI-Richtlinie werden unter Kostensimulation Simulationsstudien verstanden, bei denen in Ergänzung zu den sonst üblichen Leistungsdaten, wie Durchlaufzeiten, Bestände,

Terminabweichungen und Kapazitätsauslastungen, zusätzlich Auswertungen unter kosten- und betriebswirtschaftlichen Aspekten durchgeführt werden. Grundlage für die simulationsgestützte Wirtschaftlichkeitsanalyse ist ein Kostenmodell.

Bezugspunkt für das Aufstellen eines Kostenmodells im Rahmen dieser Arbeit ist wiederum das in Kapitel 4.2.1 entwickelte Branchenprozessmodell, das sowohl die fertigungsunterstützenden Prozesse als auch die Fertigungsprozesse umfasst. Der Aufbau des Kostenmodells ist entscheidend davon abhängig, welches Kostenrechnungssystem zur Ermittlung und Verrechnung der Kosten genutzt werden soll [125]. Zusätzlich müssen die Kosten im Kostenmodell so hinterlegt sein, dass ein differenzierter Ausweis der entscheidungsrelevanten Kosten unterstützt wird.

Vor dem Hintergrund des kostenstrukturverändernden Charakters der Maßnahmen im Rahmen des Produktionsmanagements lässt sich daraus die Forderung ableiten, dass die Kostenfristigkeit und damit die zeitliche Dimensionierung der Kostenblöcke mit dem Kostenmodell berücksichtigt werden können muss. Darüber hinaus muss mit dem Ziel, die Transparenz in der Beeinflussbarkeit der prozessorientierten Kosten zu erhöhen, auch eine strikte Trennung von Kostenanteilen für die Fertigungsprozesse sowie für die fertigungsunterstützenden Prozesse entlang der gesamten Auftragsabwicklung möglich sein.

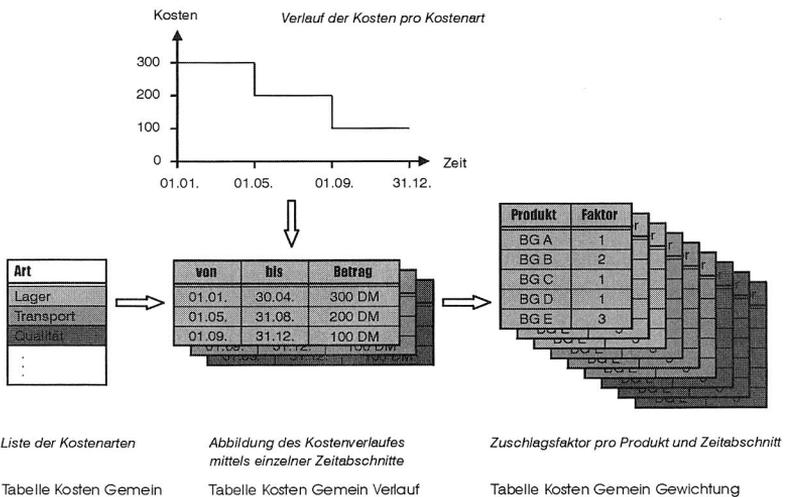


Bild 77: Berücksichtigung von Kostenverläufen bei der Prozessmodellierung

In der Literatur existiert bisher keine einheitliche Methode, die einerseits eine Unterteilung in fixe und variable Kosten und andererseits eine differenzierte Betrachtung der unterschiedlichen Abbaubarkeiten bestimmter Kostenblöcke in die bestehenden Kostenrechnungssysteme integriert [54, 75]. Die fehlende Aussage über die Kostenfristigkeit und damit zeitliche Dimension bestimmter Kostenblöcke vernachlässigt, dass die Fixkostenpotenziale unterschiedlichen Bindungsfristen unterliegen und erhöht damit die Wahrscheinlichkeit von Fehlentscheidungen [100].

Zur detaillierten Klassifizierung der Kostenblöcke werden deshalb, wie in Bild 77 dargestellt, in einer Tabelle alle Kostenarten gespeichert, die sich nicht direkt einer Maschine oder einem Prozess zuordnen lassen. Jeder Kostenblock lässt sich nach seiner sachlichen Struktur einer Kostenart zuordnen, zusätzlich kann ein zeitabhängiger Kostenverlauf angegeben werden. Die Zuordnung der Kostenblöcke auf die Produkte erfolgt über sogenannte Kostentreiber in einem Kostenrechnungsmodul, das im folgenden Kapitel genauer beschrieben werden soll.

Auf der Grundlage des aufgestellten Kostenmodells wird eine Vergleichbarkeit der Maßnahmen im Rahmen des Produktionsmanagements unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten unterstützt. Dies geschieht durch Simulation der Kostenstrukturen auf Basis der Prozesskostensätze für die fertigungsunterstützenden Prozesse sowie auf Basis der dynamischen Linien- bzw. Maschinenstundensätze für die Fertigungsprozesse.

5.3.2 Ermittlung und Verrechnung von Kosten in der Simulation

Wie bereits erwähnt, stellt das Kostenmodell die Grundlage für die Ermittlung und Verrechnung der Kosten dar. Im Rahmen der Ermittlung von Kosten ist zu klären, welche Kostendaten in Abhängigkeit von der zu unterstützenden Entscheidung im Rahmen des Produktionsmanagements benötigt werden und an welchen Elementen des Simulationsmodells die Ausgangsgrößen für die kostenmäßige Bewertung erfasst werden können. Bei der Verrechnung von Kosten muss vorher festgelegt werden, nach welchem Kostenrechnungssystem die Kosten aus den Produktionsablaufdaten gewonnen werden.

Im Rahmen dieser Arbeit kommt der Ansatz der nachgeschalteten Kostensimulation zur Anwendung. Bei der nachgeschalteten Kostensimulation erfolgt die Differenzierung der Kosten nach Kostenarten im separaten Kostenmodul und nicht im Simulationswerkzeug. Für jeden zu simulierenden Kostenträger wird ein Leistungskonto (= Trace-Datei) erzeugt, auf dem die Produktionsablaufinformationen (u.a. Zeiten, Betriebszustände, Zustandswechsel) ereignisgesteuert gesammelt werden. Die Ermittlung und Verrechnung der Kosten (Kostenarten-, Kostenstellen-, Kostenträgerrechnung) erfolgt ausschließlich im nachgeschalteten Kostenmodul auf Grundlage

der erzeugten Trace-Datei. Dazu sind im Kostenmodul die Produktionsablaufdaten in Abhängigkeit von dem verwendeten Kostenrechnungssystem mit spezifischen Kostenparametern zu verknüpfen.

Zur Ermittlung und Verrechnung der Kosten in der Simulation wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Auswertemodul zur Prozesskostenrechnung entwickelt, das auf den Leistungsdaten der Geschäftsprozess- und Ablaufsimulation aufsetzt (Bild 78). Die in Kapitel 4 ausführlich beschriebenen Prozessmodelle für die alternativen Prozessketten Make und Buy stellen die Grundlage für die simulative Analyse der Kostenstrukturen dar. So können Offline-Auswertungen von Simulationsdaten neben anderen Anwendungsfeldern für die Beurteilung von Maßnahmen im Rahmen des Produktionsmanagements herangezogen werden.

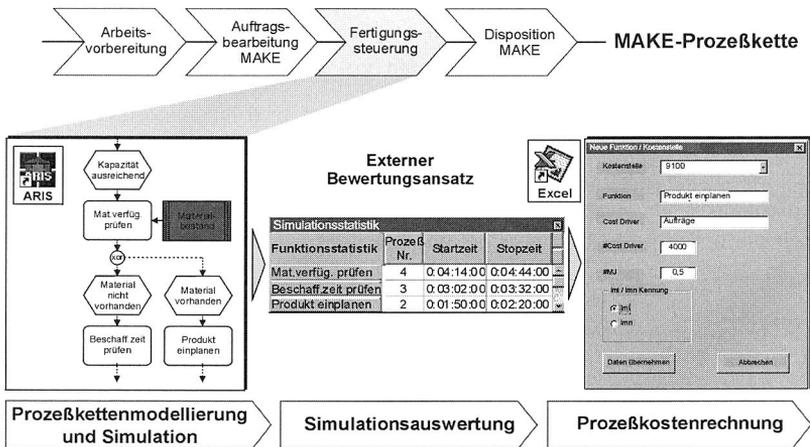


Bild 78: Simulation gestützte Wirtschaftlichkeitsanalyse mit nachgeschaltetem Kostenrechnungsmodul

Die Akkumulation der Kostenanteile auf der Ebene der Prozessketten lässt eine Aussage hinsichtlich der Ressourceneffektivität in einer Periode bei der Bearbeitung eines bestimmten Auftragsvolumens zu. In Bild 79 sind die Kostenwirkungen der alternativen Prozessketten für die Eigenherstellung bzw. den Fremdbezug einer elektronischen Baugruppe einander gegenübergestellt. Zur Bestimmung der Gesamtkosten für die Make-Prozesskette sind neben der Summe der Kosten für die Eigenherstellungsprozesse die Materialeinzelkosten zu berücksichtigen. Dem gegenüber gehen bei der Kalkulation der Buy-Prozesskette die Summe der Kosten für die internen Fremdfertigungsprozesse und der Preis für die zu beschaffende Baugruppe ein.

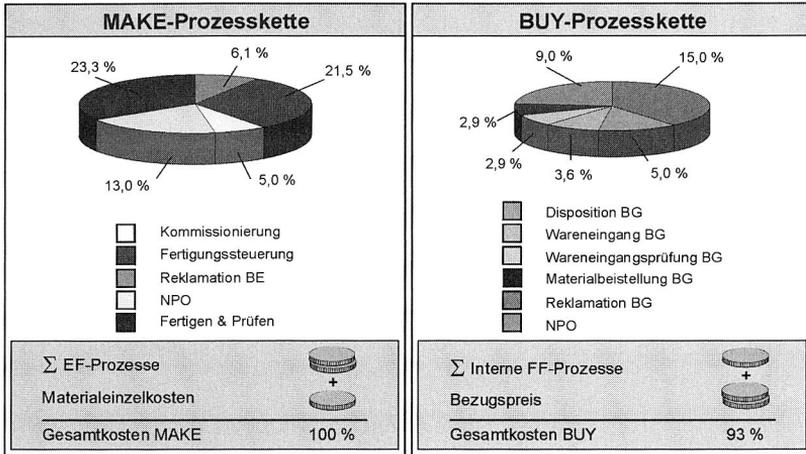


Bild 79: Kalkulation der anfallenden Kosten für die Strategiefälle Make und Buy

Mit dem soeben vorgestellten, nachgeschalteten Kostenrechnungsmodul lässt sich der kostenstrukturverändernde Charakter von Maßnahmen im Rahmen des Produktionsmanagements nachweisen. Durch Kombination des Werkzeuges Simulation mit Elementen der Kostenrechnung kann der Wirkungsgrad der Prozesskostenrechnung erheblich gesteigert werden. Dies hat zur Folge, dass zur Unterstützung des Produktionsmanagements genauere Kostendaten zur Verfügung stehen. Dies stellt eine wesentliche Voraussetzung dar, um eine Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Make-or-Buy Strategien unter Berücksichtigung des nach einer innerbetrieblichen Optimierung erreichbaren Kostensenkungspotenzials herzustellen. Das Kostenmodul ermöglicht die Simulation der resultierenden Kostenstrukturen auf der Grundlage von Prozesskostensätzen für die fertigungsunterstützenden Prozesse sowie Linien- bzw. Maschinenstundensätzen für die Fertigungsprozesse. Dies erhöht maßgeblich die Transparenz in den fixkostenintensiven Gemeinkostenstrukturen und wirkt somit den Verkrustungstendenzen entgegen [47].

5.4 Erweiterung des modularen Planungswerkzeuges auf Produktionsnetze

Abschließend wird im Rahmen dieses Kapitels das entwickelte, modulare Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion im Maschinenbau auf Produktionsnetze erweitert. Durch diese zusätzliche Dimension der Wandlungsfähigkeit wird der Zugriff auf Technologien, die im Unternehmen nicht vorhanden sind, erleichtert sowie der unternehmensübergreifende Ausgleich von Belastungsschwankungen unterstützt.

Nach einer Darstellung der grundlegenden Netzwerktypen in der Elektronikproduktion werden zwei Ansätze zur kooperativen Planung von verteilten Fertigungsstandorten vorgestellt.

5.4.1 Netzwerktypen in der Elektronikproduktion

Vor dem Hintergrund des dynamischen Wandels zu immer neuen Technologien in der Elektronikproduktion und der daraus resultierenden Breite ganz unterschiedlicher Aufbau- und Verbindungstechnologien wird deutlich, dass ein Unternehmen allein die hohen Investitionsaufwendungen und das damit verbundene Risiko nur schwer tragen kann. Neben den klassischen Handlungsmöglichkeiten Make und Buy rückt damit Cooperate, also die Zusammenarbeit von Unternehmen in Netzwerken, zunehmend in den Mittelpunkt der Betrachtung [32, 33, 143, 150].

Neuartige Kooperationsansätze im Bereich der Logistik zielen auf die Integration von Planungsprozessen entlang der überbetrieblichen logistischen Prozesskette ab [19, 148]. In der Elektronikproduktion lassen sich drei verschiedene Typen von Produktionsnetzen beobachten, die sich hinsichtlich ihrer Funktionsweise und Nutzenpotenziale erheblich voneinander unterscheiden (Bild 80). In verrichtungsorientierten Produktionsnetzen kooperieren Unternehmen bezogen auf ein bestimmtes Fertigungs- oder Prüfverfahren. So lassen sich beispielsweise mit dem Ziel der Ressourcenteilung die mit der Anschaffung eines Röntgenprüfgerätes verbundenen Investitionskosten auf mehrere Unternehmen verteilen. Kunden- und produktorientierte Produktionsnetze können sowohl unternehmensintern als auch unternehmensübergreifend realisiert werden. Grundidee ist die Ausrichtung von Fertigungsbereichen oder ganzer Produktionsstandorte auf die spezifischen Bedürfnisse der Kunden. Prozessorientierte Produktionsnetze kommen immer dann zum Tragen, wenn für die Herstellung einer Baugruppe stark unterschiedliches Prozess-Know-how erforderlich ist. Dieser Netzwerktyp bietet sich beispielsweise für die Herstellung von Molded Interconnect Devices (MIDs) an, indem mehrere Unternehmen ihre technologische Kompetenz in den Bereichen Spritzgießen, Metallisieren und Strukturieren in die Kooperation einbringen [96].

Alternativ zu den soeben diskutierten Netzwerktypen in der Elektronikproduktion wird dem Ansatz der virtuellen Unternehmen eine große Bedeutung für die Zukunft zugesprochen [27, 68, 80]. Dieser Netzwerktyp basiert auf dem temporären Zusammenschluss mehrerer Partner mit dem Ziel, Kernkompetenzen zu einer größeren Systemleistung zu bündeln. Der Hauptunterschied dieser Organisationsstruktur im Vergleich zu konventionellen Supply Chains besteht im zumeist eher kurzfristigen Zeithorizont der Zusammenarbeit. Die strategischen Partnerschaften schaffen flexible Verbände zum Nutzen aller Beteiligten. Da alle Partner ihre besten Fähigkeiten zusammenbringen, entsteht im Idealfall ein Verbund, der dem einzelnen Unternehmen überlegen ist

[105, 122, 140]. Gegenseitiges Vertrauen, die beliebige räumliche Verteiltheit der Unternehmen, die intensive Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnik, der Verzicht auf detaillierte Verträge und spezifische Investitionen sowie das einheitliche Auftreten gegenüber dem Kunden gelten als charakteristische Merkmale dieses Netzwerktyps [138]. Hauptanwendungsbereiche in der derzeitigen betrieblichen Praxis sind sich schnell entwickelnde high-tech Industrien (z.B. Mikroelektronik, Biotechnologie).

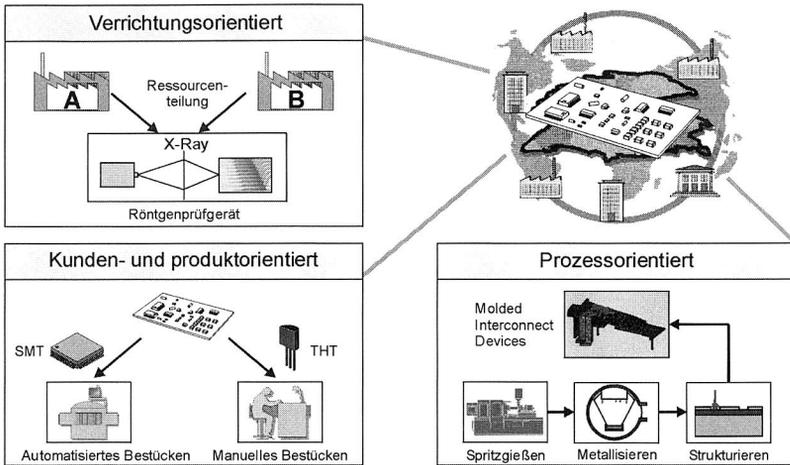


Bild 80: Typen von Produktionsnetzen [32]

5.4.2 Ansätze zur kooperativen Planung von verteilten Fertigungsstandorten

Die kooperative Planung von verteilten Produktionsstandorten stellt erhöhte Anforderungen sowohl an die Informationssysteme-Architektur als auch an das Informationsmanagement [33].

Herkömmliche Methoden zur Planung und Steuerung von Produktionssystemen werden den Anforderungen, die sich aus den Aufgaben der kooperativen Planung von verteilten Produktionsstandorten ableiten lassen, nicht gerecht [146]. Aus Sicht der Informationsverarbeitung kritisch ist beispielsweise die Verschiebung der Koordinationsaufgaben von der internen Koordination innerhalb eines Unternehmens hin zu einer externen Koordination mehrerer, an einer gemeinsamen Aufgabe beteiligten Unternehmen, die durch die herkömmlichen Methoden nur unzureichend unterstützt wird. Darüber hinaus scheitert die transparente, kommunikationstechnische Integration von planenden Bereichen meist an der Heterogenität der Systemplattformen und Anwenderprogrammen bei verteilten Fertigungsstandorten. Die heute verfügbaren,

integrierten Planungswerkzeuge zur kooperativen Planung von verteilten Fertigungsstandorten sind stark durch die Architektur des Gesamtsystems geprägt und setzen in der Regel eine informationelle Durchdringung des Gesamtunternehmens voraus [48]. Die fehlende Anbindung zum aktuellen Betriebsgeschehen in den verteilten Fertigungsstandorten steht einer unternehmensübergreifenden Koordination von Prozessen entgegen. Auch die Frage nach geeigneten Sicherheitsmechanismen, die zuverlässig den Zugriff externer Kooperationspartner auf eine Teilmenge der Prozessdaten restringieren und so die Kooperationspartner vor Know-how Verlusten sichern, ist noch weitgehend offen [64, 69].

Im Folgenden werden zwei Ansätze zur kooperativen Planung von verteilten Produktionsstandorten, nämlich ein Ansatz zum Grunddatenmanagement und ein Ansatz zum Web-based Simulation, vorgestellt.

In der Elektronikproduktion nimmt der Trend zum Outsourcing von Bestückleistung aufgrund von Unterauslastung einzelner Unternehmen rasant zu. Dadurch löst sich die organisatorische Verbindung von Entwicklungsabteilungen und zugehöriger Produktion immer mehr auf und die verbleibenden Produktionsstätten haben mehrere Kunden auf der Entwicklungsseite zu bedienen. Die Kunden arbeiten in verschiedenen ECAD-Systemen zum Layout und Entflechten von elektronischen Baugruppen. Die daraus zu generierenden Datenfiles für die Herstellung der Leiterplatte und zum Teil auch zur Erstellung von Fertigungsunterlagen sind normiert (Gerber-Daten). Nicht normiert sind jedoch die DV-Systeme zur Pflege von Grunddaten der zu bestückenden Bauelemente, der Maschinen und der Produkte [107]. Dies führt dazu, dass bei der Auftragsannahme oder -verlagerung die Grunddaten in die jeweilige DV-Welt eingegeben (referenziert) und gepflegt werden müssen. Hierdurch entstehen oft hohe Initialaufwände vor Serienanlauf einer elektronischen Baugruppe, die eine kurzfristige Verlagerung von Bestückungsleistungen be- oder verhindern.

Eine zentrale Voraussetzung für die kurzfristige Verlagerung von Bestückaufträgen auf die verteilten Produktionsstandorte besteht somit darin, dass alle Partner über gleiche oder zumindest überführbare betriebliche Grunddaten verfügen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Konzept für ein Grunddaten-Managementsystem entwickelt, auf das alle Partnerfirmen eines Produktionsnetzes zugreifen können und das in der Lage ist, mit allen marktgängigen ECAD-Systemen zu kommunizieren (Bild 81). Alle physikalischen und elektrischen Daten werden an einer Stelle zentral gepflegt und verwaltet. Auch Informationen über die Verfügbarkeit oder die Abkündigung elektronischer Bauelemente am Beschaffungsmarkt werden zentral erfasst. Das Grunddaten-Managementsystem sieht darüber hinaus vor, dass firmenspezifische Daten (z.B. Preise, Anlieferformen, Verwendungsart wie Serienteil, Ersatzteil, Preferred Part) von jedem Unternehmen individuell hinzugefügt werden können.

Mit der Einführung eines Grunddaten-Managementsystems lassen sich die hohen Initialkosten vor Serienanlauf einer Baugruppe deutlich reduzieren. Dies trägt dazu bei, dass die Elektronikfertiger deutlich flexibler auf die naturgemäß hohen Auslastungsschwankungen reagieren können. Gleichzeitig wird durch die Verringerung der Initialkosten der frühzeitige Übergang auf neue Bauelementetechnologien unterstützt.

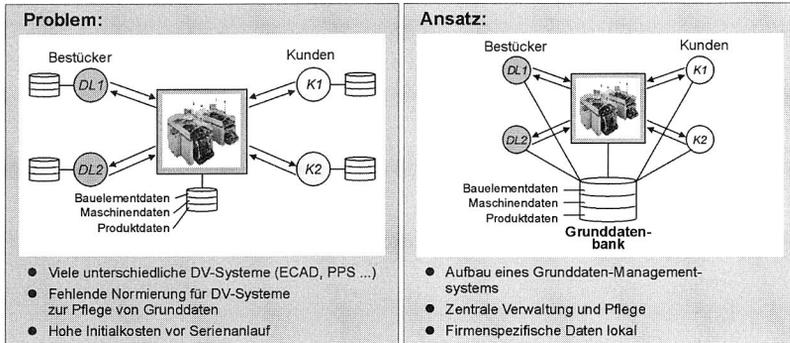


Bild 81: Grunddaten-Managementsystem als Voraussetzung für einen Fertigungsverbund von Elektronikfertigern

Die Herstellung elektronischer Baugruppen an verteilten Produktionsstandorten führt gleichzeitig zu einem Anstieg der Komplexität der Produktionskoordination. War früher das Produktionsmanagement lokal organisiert, muss diese Aufgabe bei verteilter Produktion synchronisiert werden [143]. Derzeit läuft die Einbindung externer Fertigungskapazitäten in das produktionstechnische Umfeld eines Unternehmens noch weitgehend ungeplant ab.

Der Einsatz des Werkzeuges Simulation im Rahmen von Produktionsnetzen und verteilten Produktionsstandorten scheiterte bisher an den sehr komplexen, monolithischen Simulationsmodellen. Derartige Modelle sind nicht in der Lage, mit existierenden oder zu erstellenden Simulationsmodellen der Netzwerkpartner zu kommunizieren [3]. Im Fokus derzeit verfolgter Ansätze zum Einsatz der Simulationstechnik stehen die Schlagworte verteilte Simulation oder Web-based Simulation [9, 59, 123]. Unter verteilter Simulation wird eine zeitlich parallele Nutzung von gegebenenfalls heterogenen Simulationsmodellen auf unterschiedlichen Rechnern, die über ein gemeinsames Computernetzwerk verbunden sind, verstanden [3]. Das Hauptziel bei der verteilten Simulation liegt in der parallelen Nutzung von verteilten Simulationsmodellen, die nicht zu einem monolithischen Modell zusammengefasst werden können oder sollen.

Hinsichtlich der Dimensionen der Modellkopplung lassen sich zwei unterschiedliche Vorgehensweisen unterscheiden: Die erste Möglichkeit ist der direkte Austausch von Daten während der parallelen Ausführung der einzelnen Teilmodelle. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Online-Kopplung, da eine Zeitsynchronisation zwischen den Teilmodellen unterstützt wird. Die zweite Möglichkeit, auch Offline-Kopplung genannt, sieht die sequentielle Abarbeitung der Teilmodelle vor. Die Ergebnisse der einzelnen Teilmodelle, die als Input für nachfolgend zu simulierende Teilmodelle benötigt werden, müssen zu diesem Zweck zwischengespeichert werden. Eine Synchronisation der Teilmodelle ist über diese Art der Modellkopplung nicht möglich [3].

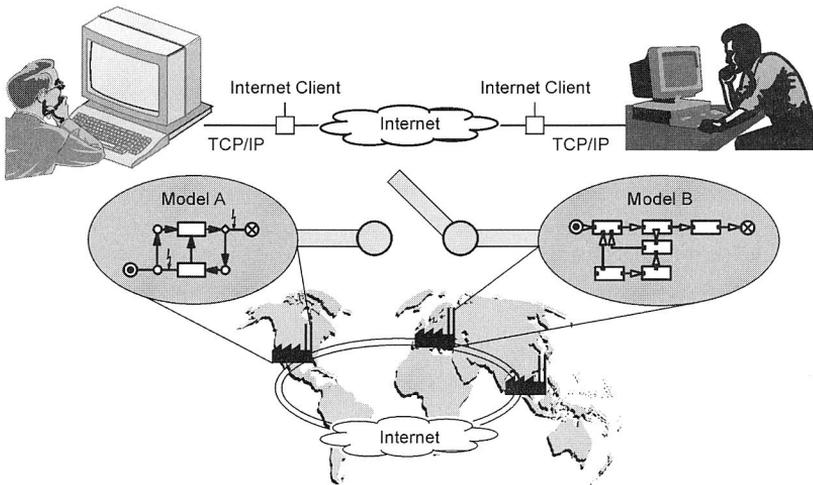


Bild 82: Web-based Simulation als Ansatz zum Kapazitätsabgleich in Produktionsnetzen

Zur Unterstützung der kooperativen Planung von verteilten Fertigungsstandorten wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Konzept für das Web-based Simulation entwickelt (Bild 82, [31]). Grundlage für den verfolgten, internetbasierten Ansatz ist eine auf der CORBA-Architektur basierende Kommunikations-Architektur. Bei CORBA handelt es sich um eine plattform- und programmiersprachenunabhängige, verteilte Objekt-Architektur [91]. Die Architektur definiert einen Softwarebus, der die Verwaltung von verteilten Objekten und den Aufruf von Methoden über Rechnergrenzen hinweg regelt. Damit ist es möglich, Objekte und deren Methoden in einer beliebigen Programmiersprache zu implementieren und die Methoden von entfernten, über ein Netzwerk verbundenen Clients aus aufzurufen. Zur softwaretechnischen Realisierung kann das Internet vorteilhaft eingesetzt werden. Der technische Vorteil dieses welt-

umspannenden Netzes ist die globale Verfügbarkeit des Transferprotokolls TCP/IP zum Datenaustausch zwischen den verteilten Fertigungsstandorten.

Bild 82 zeigt die Konstellation eines Produktionsnetzes mit weltweit verteilten Fertigungsstandorten. Die Kopplung der Simulationsmodelle der Produktionsstandorte nach dem Plug&Play Prinzip unterstützt die koordinierte Planung von verteilten Fertigungsstandorten.

Durch die beiden soeben beschriebenen Ansätze zur koordinierten Planung von verteilten Fertigungsstandorten lässt sich die Funktionalität des entwickelten, modularen Planungswerkzeuges zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion im Maschinenbau auf Produktionsnetze erweitern. Die dadurch erlangte, zusätzliche Dimension der Wandlungsfähigkeit erleichtert den Zugriff auf Technologien, die im Unternehmen nicht vorhanden sind, und unterstützt den Kapazitätsabgleich im Fall von Belastungsschwankungen.

6 Implementierung des PC-gestützten Planungswerkzeuges ProEPM

Wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, besteht eine wesentliche Anforderung an ein Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion im Maschinenbau in einer geeigneten Softwareunterstützung. Zentrale Vorteile der Rechnerunterstützung sind die Beschleunigung der Entscheidungsprozesse sowie die Möglichkeit, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Maßnahmen auf der strategischen Ebene und deren Auswirkungen auf die Fertigungsprozesse sowie fertigungsunterstützenden Prozesse transparent zu machen.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen dieser Arbeit das PC-gestützte Planungswerkzeug ProEPM (Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion im Maschinenbau) implementiert. Um die Auswirkungen alternativer Make-or-Buy Strategien auf die Prozessebene einander gegenüberzustellen, ist die Möglichkeit zur Einbindung der Leistungspotenziale des Werkzeuges Simulation vorgesehen. Das Planungswerkzeug unterstützt eine systematische Vorgehensweise und gibt somit unternehmerischen Entscheidungen eine sichere Basis. Besonderer Wert wurde dabei auf die durchgängige Benutzerführung gelegt. Im Folgenden werden Aufbau und Inhalt des Datenmodells, die zentralen Benutzeroberflächen sowie die prototypische Realisierung der Schnittstelle zwischen dem Planungswerkzeug ProEPM und der Simulation dargestellt.

Für die Implementierung des Datenmodells und der Berechnungsverfahren wurde aufgrund der hohen Anforderungen hinsichtlich der Datenspeicherung und Datenverarbeitung ein Datenbank-Management-System eingesetzt. Um die Vorteile der heute eingesetzten Standardsoftwarepakete, wie beispielsweise weite Verbreitung und einfache Bedienbarkeit, zu nutzen, wurde für die Implementierung des Planungswerkzeuges ProEPM das Datenbank-Management-System Microsoft Access verwendet. Microsoft Access unterstützt eine schnelle und einfache Anwendung des PC-gestützten Planungswerkzeuges ProEPM. Die Softwarelösung unterstützt beispielsweise eine flexible Anpassung bzw. Erweiterung der hinterlegten Kriterienkataloge abgestimmt auf die spezifischen Belange eines Unternehmens. Darüber hinaus wurde mit diesem Planungswerkzeug exemplarisch für weitere Schnittstellen die Schnittstelle zu dem Simulationswerkzeug QUEST von Deneb prototypisch implementiert.

6.1 Aufbau und Inhalte des Datenmodells

Im Folgenden soll ein Überblick über den modularen Aufbau des Planungswerkzeuges ProEPM geliefert werden. Das Planungswerkzeug ist in vier Module geglie-

dert, die mit den Buchstaben A, B, C und D bezeichnet sind (Bild 83). In Modul A ist das in Kapitel 3 entwickelte Modul zum Make-or-Buy Management implementiert, Modul B enthält das in Kapitel 4 entwickelte Modul zum Prozess-Engineering, Modul C beinhaltet das in Kapitel 5 entwickelte Modul zur simulationsgestützten Wirtschaftlichkeitsanalyse und die abschließende Auswertung und Ergebnisdarstellung, Modul D schließlich umfasst alle für die Beschreibung des Systems notwendigen Informationen einschließlich des Prozess- und Kostenmodells.

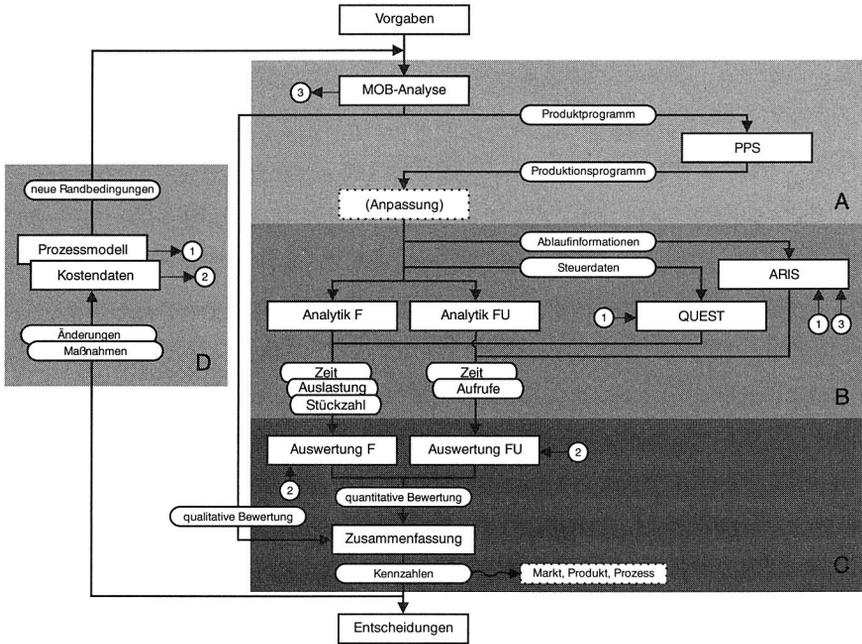


Bild 83: Aufbau und Inhalte des Datenmodells

Zwischen den Modulen existieren definierte Schnittstellen, so dass die Austauschbarkeit der Module gewährleistet ist. Der modulare Aufbau ist eine Voraussetzung, um alternative analytische Berechnungsverfahren oder Kostenrechnungssysteme in das Planungswerkzeug einzubinden. Darüber hinaus können neben den vorgesehenen Schnittstellen zu den Simulationswerkzeugen ARIS und QUEST sehr einfach weitere Schnittstellen, beispielsweise zu SAP/R3, ergänzt werden.

Bei der Erstellung des Datenmodells des Systems werden zunächst die Elemente, aus denen sich das System aufbaut, identifiziert und deren Beziehungen unter-

einander ermittelt. Hierzu ist es notwendig, alle Prozesse in Prozessschritte aufzulösen und deren Durchlauf durch das System zu erfassen. Schließlich werden alle Prozessschritte auf ihre Gemeinsamkeiten mit anderen Prozessschritten untersucht. Dabei ist darauf zu achten, die gleichen Aussagen nicht mehrfach zu erfassen und zu speichern, es ist also Redundanzfreiheit zu gewährleisten. Wichtig für die Struktur des Datenmodells ist die hierarchische Beziehung der Prozesse und Prozessschritte zueinander. Diese Analyse des Systems wird zunächst ohne Betrachtung der späteren Funktionalität des Datenbanksystems vorgenommen. Allerdings muss mit zunehmender Komplexität des entstehenden Datenmodells die spätere Funktionalität des Systems in die Betrachtung einbezogen werden. Somit ist sichergestellt, dass nur diejenigen Daten ermittelt werden, welche für die spätere Nutzung des Systems relevant sind.

6.2 Formulare

Die ermittelte Struktur des Datenmodells wird in Tabellen und deren Verknüpfungen übersetzt. Die in ProEPM genutzten Access-Objekte sind Tabellen, Abfragen, Formulare und Module. Die Namensgebung der Objekte folgt bestimmten Regeln. Die Objekte werden mit möglichst aussagekräftigen Klartextbezeichnungen versehen, die auf den ersten Blick die Funktion des Objektes erkennen lassen. Zusätzlich erhalten die Objekte ein Präfix, das die Zuordnung zu einem bestimmten Modul ermöglicht. Es gelten folgende Zuordnungen:

- A Make-or-Buy Bewertungssystematik
Produktionsprogramme, Produkte auswählen
- B Berechnung von Stückzahl, Durchlaufzeit, Auslastung
- C Berechnung von Kosten, Auswertung der Ergebnisse
- D Datenmodell, Kostendaten, Zusatzinformationen

Mit dem Ziel, die Bedienerfreundlichkeit und Benutzerakzeptanz zu erhöhen, wurde der gesamte Arbeitsablauf unter einer einheitlichen Benutzeroberfläche zusammengefasst. Dabei bilden die Formulare die Schnittstelle zum Benutzer, die anderen Objekte bekommt der Benutzer im Normalfall nicht zu sehen. Die meisten Anwendungen lassen sich in Access abbilden, die übrigen Verfahren, wie beispielsweise die Simulation, werden durch definierte Schnittstellen zu den Implementierungen in den Ablauf eingebunden.

Die Formulare sind so miteinander verbunden, dass sie eine Baumstruktur bilden. Ausgangspunkt ist das Startformular (Bild 84). In der nächsten Gliederungsebene befinden sich die Hauptformulare für die einzelnen Funktionsbereiche A, B, C und D. Von dort aus verzweigen die Formulare je nach Anforderung und Komplexität in

weitere Formulare, die ebenfalls durch das entsprechende Präfix gekennzeichnet sind. Zusätzlich steht auf jedem Formular eine Schaltfläche, die den Zugriff auf die im Programm hinterlegte Online-Hilfe ermöglicht. Sowohl die klare Trennung nach Funktionsbereichen als auch die erstellte Online-Hilfe erleichtern dem Benutzer das Navigieren durch das entwickelte Planungswerkzeug ProEPM. Im Folgenden sollen die wichtigsten Formulare zu den Funktionsbereichen und die jeweils hinterlegte Funktionalität kurz erläutert werden.

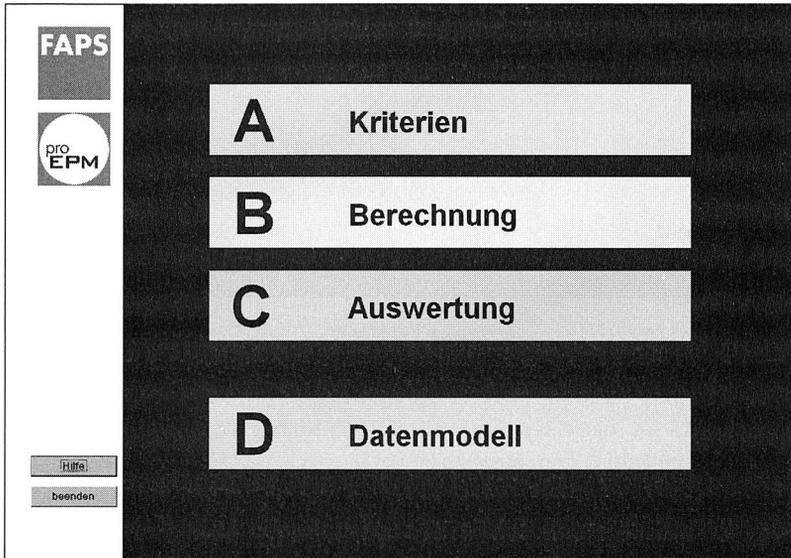


Bild 84: Startoberfläche ProEPM

Hinter der Schaltfläche A sind die aufgestellten Kriterienkataloge hinterlegt. Auf Grundlage der entwickelten Bewertungssystematik ist die qualitative und quantitative Bewertung der Make-or-Buy Objekte möglich. Dies wird durch die Verknüpfung zu den Produkten und Produktionsprogrammen unterstützt. Bild 85 zeigt das **Formular A Produktionsprogramm erstellen** zur Erfassung des Produktionsprogramms für eigengefertigte und fremdvergebene Produkte. Derzeit werden die Produktionsprogramme noch von Hand erstellt. In einer weiteren Entwicklungsstufe von ProEPM ist es aber durchaus vorstellbar, dass sich zukünftig auf dem Formular eine Schaltfläche zum automatischen Importieren der Produktionsprogramme vom PPS-System befindet. Abhängig von der eingesetzten Software auf der Seite des PPS-Systems wird der Import zukünftig über Tabellen oder über Textdateien realisiert.

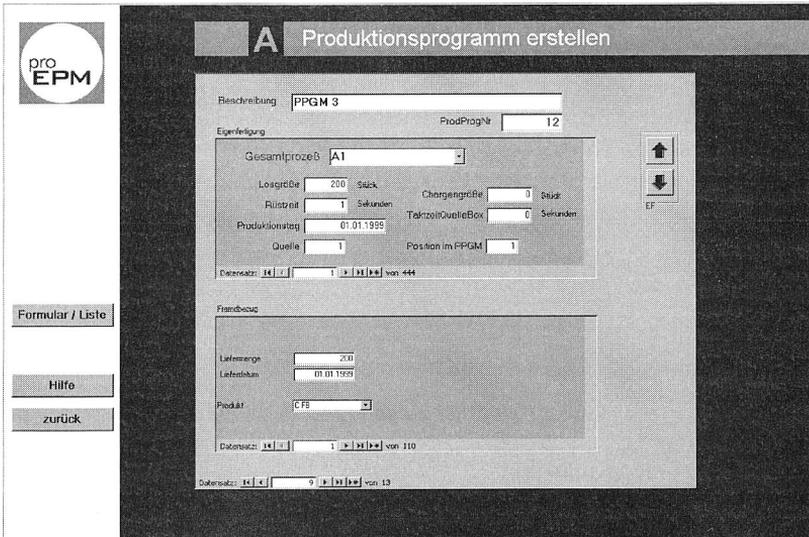


Bild 85: Formular A - Produktionsprogramm erstellen

In Bild 86 ist das **Hauptformular B Berechnungen durchführen** dargestellt. Die Abbildung zeigt die Auswertemöglichkeiten der in Kapitel 4.4.3 entwickelten Analytik bezüglich Durchlaufzeit und Auslastung für die Linienkonzepte INLINE / ONLINE bzw. OFFLINE.

Wie bereits in Kapitel 4 erläutert wurde mit dem Ziel, eine Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene herzustellen, das Werkzeug Simulation in das Planungswerkzeug ProEPM integriert. Das zugehörige **Formular B Simulationsszenario erstellen**, auf dem alle für die Steuerung der Simulation notwendigen Daten zusammengefasst sind, ist in Bild 87 dargestellt. Bevor die Steuerungsdaten geschrieben werden können, muss ein Simulationsszenario erstellt werden. In diesem Szenario sind die Produktionsprogramme zusammengefasst, die miteinander verglichen werden sollen. Zum Einlesen der Simulationsdaten muss das zugehörige Simulationsszenario ausgewählt und das Verzeichnis, in dem die Dateien stehen, angegeben werden. Alle weiteren Schritte werden im Rahmen von ProEPM automatisiert durchgeführt. Die prototypische Realisierung der Schnittstelle zum Simulationswerkzeug QUEST wird in Kapitel 6.3 noch ausführlicher beschrieben.

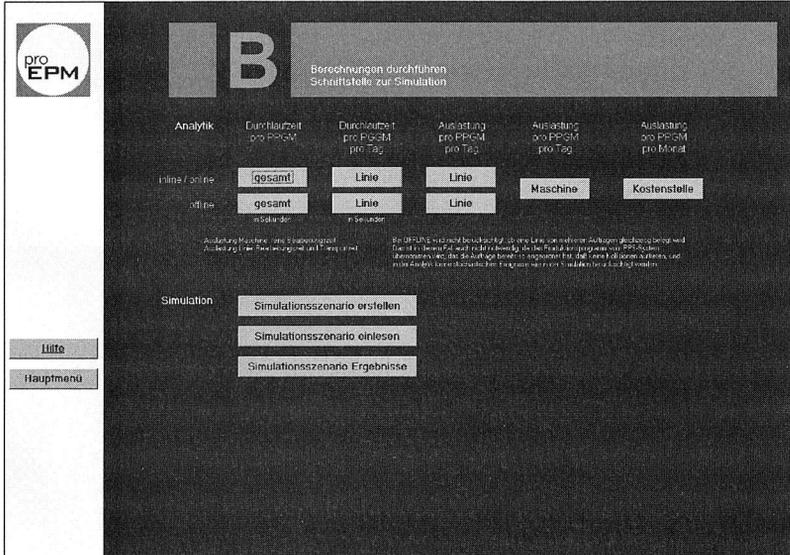


Bild 86: Hauptformular B - Berechnungen durchführen

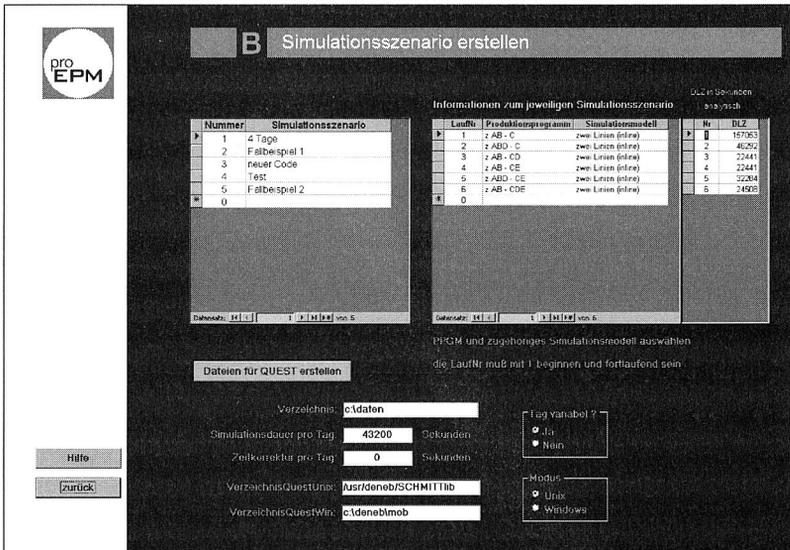


Bild 87: Formular B - Simulationsszenario erstellen

Im **Hauptformular C Ergebnisse auswerten** werden im derzeitigen Zustand die Stückkosten der einzelnen elektronischen Baugruppen des Produktionsprogramms berechnet (Bild 88). Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Stückkosten getrennt nach den bei der Durchführung der Fertigungsprozesse (Kosten F – inline) sowie der fertigungsunterstützenden Prozessen (Kosten FU) anfallenden Kosten zu ermitteln. So ist ein direkter Vergleich der einzelnen Produktionsprogramme untereinander möglich.

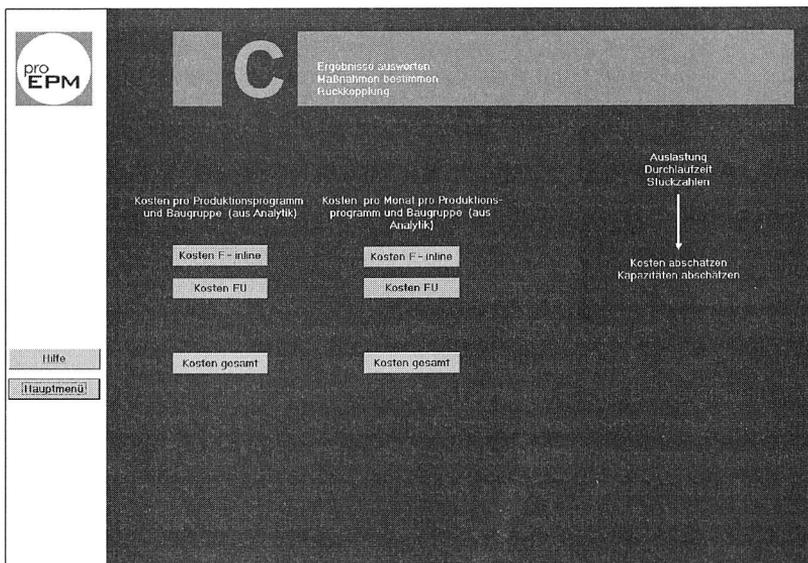


Bild 88: Hauptformular C - Ergebnisse auswerten

Unter dem **Hauptformular D – Daten eingeben** werden alle Daten eingegeben, welche die herzustellenden Produkte, die zu Grunde liegenden Prozesse und die zugehörigen Kosten beschreiben (Bild 89). Bis auf die Ablaufinformationen (Produktionsprogramme) wird hier das gesamte Datenmodell mit Inhalt gefüllt. Grundsätzlich erfolgt auch hier die Dateneingabe separat für die Fertigungsprozesse und die fertigungsunterstützenden Prozesse. Die Reihenfolge der Bearbeitung folgt der Anordnung der Schaltflächen. Auf die hier angelegten Daten wird auch bei der Einbindung der Simulation zurückgegriffen. Die Parametrierung des Simulationsmodells erfolgt vom Planungswerkzeug ProEPM aus. Die Steuerung der Simulation von ProEPM aus wird in Kapitel 6.3 noch ausführlicher beschrieben. Im Folgenden sollen die wichtigsten Formulare zur Dateneingabe erläutert werden.

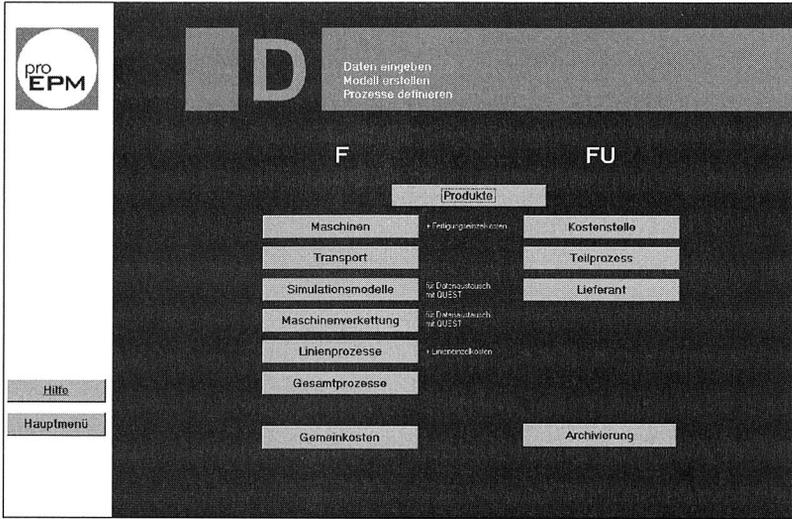


Bild 89: Hauptformular D - Daten eingeben

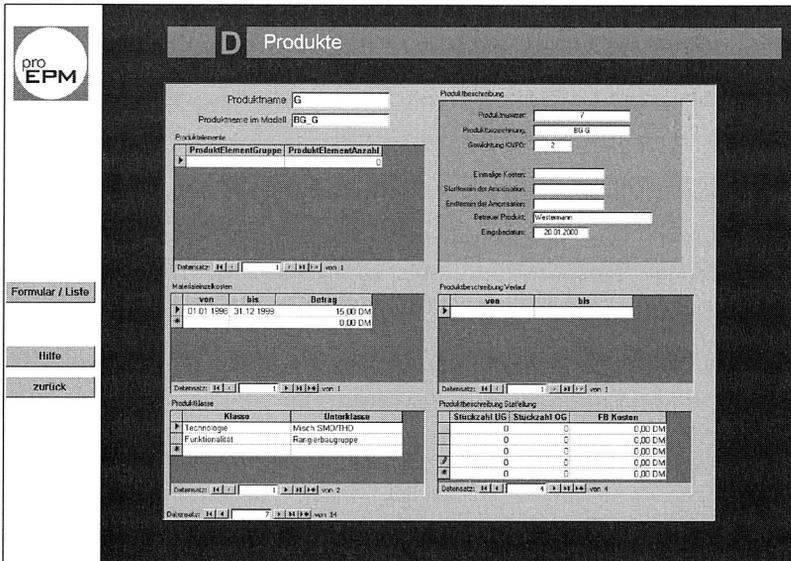


Bild 90: Formular D - Produkte anlegen

In Bild 90 ist das **Formular D – Produkte anlegen** dargestellt. Das **Unterformular Bauelemente** sieht die Möglichkeit vor, die Bauelementetypen anzugeben, die zur Herstellung der elektronischen Baugruppe verwendet werden. Diese Daten können beispielsweise für eine Zuordnung der elektronischen Baugruppen zu unterschiedlichen Fertigungseinrichtungen herangezogen werden. Im **Unterformular Materialeinzelkosten** ist die Angabe eines Kostenverlaufes für die anfallenden Materialeinzelkosten möglich. Dadurch lassen sich auch Progressionseffekte bei der Materialkostenentwicklung berücksichtigen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, im **Unterformular Produktklassen** das Produkt nach seiner Funktionalität oder Technologie zu klassifizieren. Dies ist die Voraussetzung für die verursachungsgerechte Verrechnung der Kosten der fertigungsunterstützenden Prozessen unter Berücksichtigung der Produktkomplexität.

Unter dem **Formular D – Maschinen anlegen** werden für die einzelnen Maschinen in Abhängigkeit von dem hergestellten Produkt die Bearbeitungsdaten hinterlegt. Neben einer Ausschussrate lassen sich über dieses Formular die Verteilungen der Bearbeitungszeiten, der Störprofile und der Fehlerbehebungszeiten angeben. Die an dieser Stelle im Planungswerkzeug ProEPM angelegten Bearbeitungsdaten stellen die Grundlage für das Aufstellen des Arbeitsplanes dar. Gleichzeitig können die Bearbeitungsdaten über eine Schnittstelle, die in Kapitel 6.3 noch ausführlich beschrieben wird, in das Simulationswerkzeug QUEST eingelesen und zur Parametrierung und Steuerung des Simulationsmodells der Elektronikfertigung herangezogen werden.

Zusätzlich ist für jede Maschine eine Differenzierung der Kostenarten nach der Kosteneinheit (pro Stunde bzw. pro Stück) und der Abhängigkeit von Beschäftigungsschwankungen (variabel bzw. fix) möglich. Dabei kann, wie in Kapitel 5.3.1 erläutert, für jede Kostenart ein zeitabhängiger Kostenverlauf angegeben werden.

Das **Formular D – Linienprozesse anlegen** beinhaltet die Parametrierung der direkten Fertigungsprozesse (Bild 92). Unter Linienprozess ist dabei die Kombination aus physikalischer Linie und dem darauf hergestellten Produkt zu verstehen. Während bei der Inline-Fertigung nur ein Linienprozess pro Baugruppe existiert, werden bei der Offline-Fertigung ein oder mehrere Linienprozesse in einem Gesamtprozess für die Herstellung einer Baugruppe zusammengefasst. Für jeden Linienprozess ist eine Differenzierung der Kostenarten nach der Kosteneinheit (pro Stunde bzw. pro Stück) und der Abhängigkeit von Beschäftigungsschwankungen (variabel bzw. fix) möglich. Zusätzlich kann, wie in Kapitel 5.3.1 erläutert, für jede Kostenart ein zeitabhängiger Kostenverlauf angegeben werden.

D Maschinen

Produktname: SMD bestucker MaschinenName: Siplace 1

Bearbeitungsdaten: Name im Modell: SMD_pick_1

Produktname: A

Auswahl: A B

Umsatz	Zahl	A	B
Stückzahl	normal	55	1
Teile	normal	40	2
Prozente	normal	1.2	0.3
Prozente	normal		

Datenansicht: von 0

Kostenart	Kosteneinheit	variabel
Strom	pro Stück	<input type="checkbox"/>
Lehn	pro Stück	<input checked="" type="checkbox"/>
Stundenlohn	pro Stunde	<input checked="" type="checkbox"/>
Leih	pro Stunde	<input type="checkbox"/>

von	bis	Betrag
01.01.1999	31.12.1999	5.00 DM
*		0.00 DM

Datenansicht: von 4

Datenansicht: von 30

Datenansicht: von 1

Datenansicht: von 30

Bild 91: Formular D – Maschinen anlegen

D Linienprozesse

Prozessname: A1 Produktname: A

LinienelementName: Transport

MaschinenName:

Transportbezeichnung: Band, 600mm

Position im Linienprozess: 1

rechte Maschine für Ausgang im Modell:

Ausgang:

Datenansicht: von 31

Kostenart	Kosteneinheit	variabel
Führung	pro Stunde	<input type="checkbox"/>

von	bis	Betrag
01.01.1999	01.01.1999	1.000,00 DM
02.01.1999	31.12.1999	2.000,00 DM
*		0,00 DM

Datenansicht: von 1

Datenansicht: von 2

Datenansicht: von 15

LINIENPROZESS
Kombination aus physikalischer Linie und darauf festgelegtem Produkt (ein Linienprozess pro Produkt)

IN-LINE
nur ein Linienprozess pro BG

OFF-LINE
mehrere Linienprozesse pro BG

Ein oder mehrere Linienprozesse werden in einem Gesamtprozess für eine BG zusammengeführt

Bild 92: Formular D – Linienprozesse anlegen

Das **Formular D – Teilprozesse anlegen** beinhaltet die Parametrierung der fertigungsunterstützenden Prozesse (Bild 93). Vom Benutzer wird zunächst die Teilprozessbezeichnung und die Teilprozesskategorie angegeben. Die Teilprozesskategorie zeigt an, welcher Teilprozesskette der jeweilige Teilprozess zuzuordnen ist. Die Bezeichnungen der Teilprozessketten decken sich mit den in Kapitel 4.1.2 eingeführten Bezeichnungen im Rahmen des Branchenprozessmodells. Darüber hinaus findet hier eine Zuordnung der Teilprozesse zu einer Kostenstelle statt. Im Unterformular Produkt ID werden jedem Teilprozess die Produkte zugewiesen, die bei ihrer Herstellung diesen Teilprozess durchlaufen. In einem weiteren Unterformular lässt sich für jeden Teilprozess die Bearbeitungszeit in Abhängigkeit von der Technologie einer Baugruppe klassifizieren. Durchläuft beispielsweise eine mischbestückte Baugruppe einen bestimmten Teilprozess, so nimmt diese mehr Zeit in Anspruch als eine reine SMD-bestückte Baugruppe. Dieser Zusammenhang wurde bereits in Kapitel 4.3.2 ausführlich erläutert.

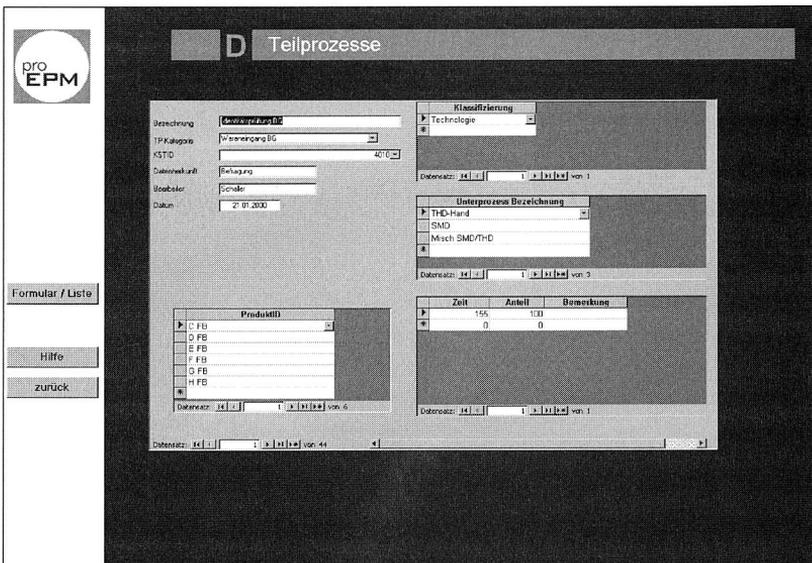
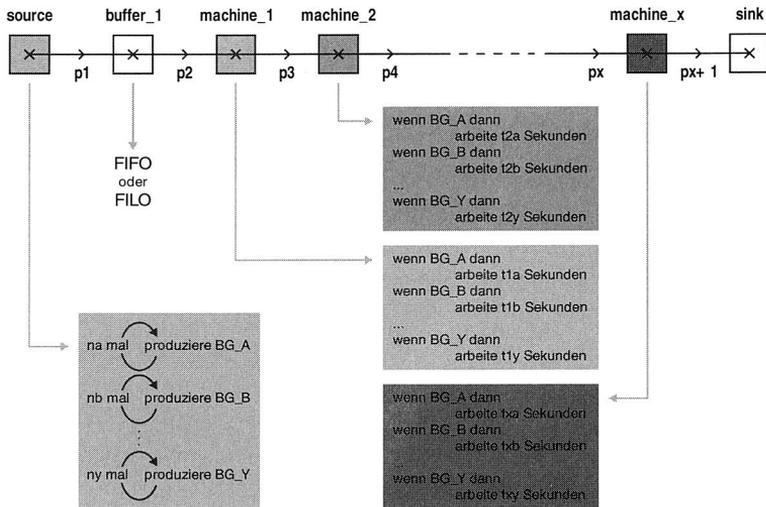


Bild 93: Formular D - Teilprozesse anlegen

Unter dem **Formular D – Archivierung der Ergebnisse** kann das aktuelle Datenmodell komplett mit Angabe des Make-or-Buy Objektes, des Datums und der Bewertungsergebnisse gespeichert werden. So bleiben bereits durchgeführte Analysen erhalten. Einmal getroffenen Entscheidungen können damit zu einem späteren Zeitpunkt nochmals überprüft werden. Unter diesem Formular stehen dem Benutzer die

beutung sichtbar sein, sondern das Part nur eine bestimmte Zeit in der Maschine verbleiben, bevor es über einen der vorher definierten Maschinenausgänge die Maschine wieder verlässt und weiter transportiert wird. Der Transport wird durch Bänder oder andere Transporteinrichtungen dargestellt. Bei den Transporteinrichtungen kann die Transportgeschwindigkeit und gegebenenfalls die Kapazität angegeben werden. An den Stellen im System, an denen ein Teilstau entstehen kann, sind Puffer vorzusehen. Ebenso werden Puffer an die Stellen gesetzt, an denen in der realen Anlage Speichereinrichtungen vorhanden sind. Für die Maschinen werden jeweils einer oder mehrere Ein- und Ausgänge definiert. Jeder dieser Ein- und Ausgänge wird mit einer Transporteinrichtung oder einer anderen Maschine verbunden. Bei mehreren Ausgängen können unterschiedliche Parts auf unterschiedlichen Wegen weitergeleitet werden. Es müssen also bei der Erstellung des Simulationsmodells alle späteren Möglichkeiten des Teiletransportes vorgesehen werden, soll eine ausreichende Flexibilität erreicht werden.



p1 bis px+ 1: Transportpfade für die Parts

Bild 95: Logik des Simulationsmodells

Die Logik des Simulationsmodells beinhaltet die Logik der Maschinen und die Logik der Quellen (Bild 95). Die gesamte Logik der Maschinen (inklusive Fehlerereignisse) ist in einer SCL-Datei (**S**imulation **C**ontrol **L**anguage) zusammengefasst, die Logik

der Quellen ist in einer anderen SCL-Datei gespeichert. So ist es durch Austausch der jeweiligen Dateien möglich, die Arbeitspläne der Maschinen bzw. das Produktionsprogramm zu ändern. Da diese Dateien von ProEPM automatisch erstellt werden, ist für die Durchführung eines Simulationslaufes kein zusätzliches Wissen über das Simulationswerkzeug QUEST notwendig.

Jedem aktiven Element kann in QUEST ein bestimmtes Verhalten (Logik) zugeordnet werden. Dazu können entweder eingebaute Funktionen ausgewählt und die charakteristischen Parameter in vordefinierte Felder eingegeben werden, oder es können Funktionen zugeordnet werden, die in externen Dateien gespeichert sind. Grundsätzlich lassen sich alle Eigenschaften eines Elements in QUEST auch mittels SCL in einer Datei definieren.

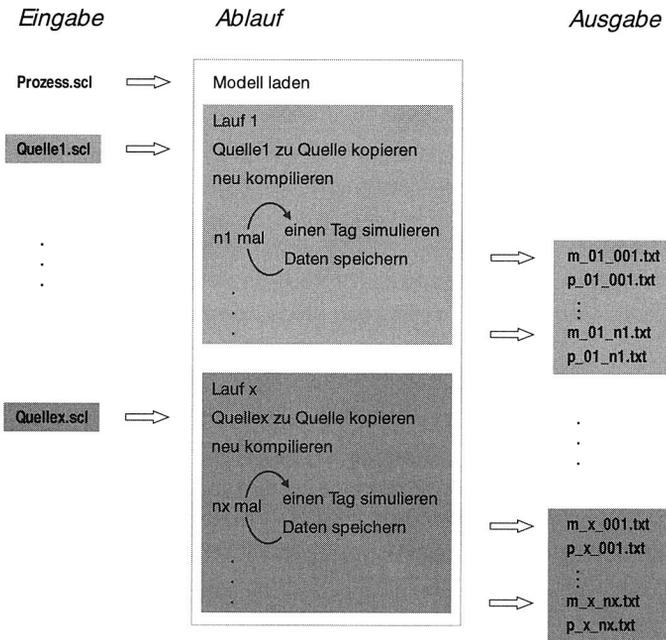


Bild 96: Steuerung der Simulation

Wie bereits in Kapitel 6.2 erläutert, steht auf dem Formular **D – Maschinen** das Feld **Name im Modell**. Der Text in diesem Feld wird zum Namen der Funktion in der Datei

Prozess.scl, welche den Arbeitsplan beinhaltet. In QUEST wird für jede Maschine über diese SCL-Datei die Verhaltenslogik der Maschinen festgelegt. Ändert sich der Inhalt dieser Datei, ändert sich auch das Verhalten der Maschine. Ebenso beziehen alle Quellen die Information darüber, welche Parts in welcher Menge in welcher Reihenfolge gefertigt werden sollen, aus der Datei **Quelle.scl**. In dieser Datei steht für jede Quelle eine eigene Funktion, die das Produktionsprogramm für den entsprechenden Tag enthält. Für jeden Tag des zu simulierenden Produktionsprogramms wird eine eigene Datei nach dem Schema **q_Lauf_Tag.scl** erzeugt, wobei **Lauf** für die Nummer des Produktionsprogramms im Simulationsszenario steht und **Tag** für den jeweiligen Produktionstag. Für jeden Tag wird der Inhalt der Datei **Quelle.scl** ausgetauscht und ein neuer Simulationslauf gestartet (Bild 96).

Das Austauschen der SCL-Dateien und das Speichern der Simulationsdaten wird von der Datei **Automatik.bcl** gesteuert. Es handelt sich dabei um eine ebenfalls von ProEPM automatisch erstellte BCL-Datei. Mit BCL (**B**atch **C**ontrol **L**anguage) können sämtliche Befehle der Benutzeroberfläche von QUEST automatisch so ausgeführt werden, als ob der Benutzer selbst die Befehle direkt am Rechner eingibt. Der Inhalt der Datei **Automatik.bcl** wird der Anzahl und der Länge der zur Simulation ausgewählten Produktionsprogramme individuell angepasst. Die Simulationsdaten werden nach jedem Tag gespeichert, wobei die Länge eines Tages zuvor in ProEPM definiert wurde. Die Daten werden in Textdateien gespeichert, deren Namen dem Muster **p_Lauf_Tag.txt** (für die Parts-Statistik) und **m_Lauf_Tag.txt** (für die Model-Statistik) entsprechen. Dabei steht **Lauf** für die Nummer des Laufes (Position des Produktionsprogramms in der Liste der zu simulierenden Produktionsprogramme) und **Tag** für die Anzahl der Tage, die seit dem Simulationsbeginn dieses Produktionsprogramms vergangen sind. Die momentane Implementierung verwendet eine führende Null für die Läufe (max. 99 Läufe gleichzeitig) und zwei führende Nullen für die Tage (max. 999 Tage pro Lauf = 2,7 Jahre).

In QUEST selbst sind zahlreiche Möglichkeiten für graphische Auswertungen der Simulationsläufe vorgesehen. In dieser Arbeit liegt das Hauptaugenmerk auf dem Datentransfer, der über eine Schnittstelle zwischen QUEST und dem PC-gestützten Planungswerkzeug ProEPM erfolgen soll. In diesem Zusammenhang erfüllt die Schnittstelle zwei wesentliche Aufgaben. Einerseits soll über die Schnittstelle das Simulationsmodell von dem Planungswerkzeug ProEPM aus parametrisiert und gesteuert werden können, andererseits sollen sich die Leistungsdaten der Simulation aus QUEST über eine Trace-Datei in ProEPM importieren lassen.

Das Visual Basic Modul **B-Export** enthält die Funktionen, die benötigt werden, um die Steuerdaten für die Simulation in QUEST zu schreiben. Die Dateien werden in das in Kapitel 6.2 beschriebene Formular **B - Simulationsszenario erstellen** geschrieben. Die

Funktion **Arbeitsplan_schreiben** erstellt die Datei, die die einzelnen SCL-Funktionen zur Steuerung des Verhaltens der Maschinen im Simulationsmodell enthält. Momentan lautet der Name dieser Datei **Beispielprozess.scl**. Die Funktion **BCL_Makro_schreiben** erstellt die Datei, die den Simulationsablauf in QUEST steuert. Die Funktion **Produktionsprogramm_schreiben** erstellt für jedes Produktionsprogramm im ausgewählten Simulationsszenario eine Datei zur Steuerung der Quellen im Simulationsmodell.

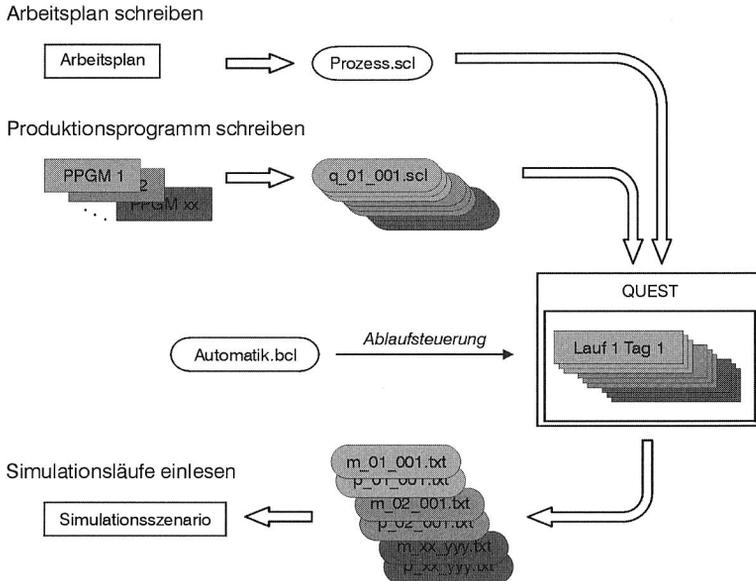


Bild 97: Schnittstelle zwischen dem PC-gestützten Planungswerkzeug ProEPM und dem Simulationswerkzeug QUEST

Wenn alle Felder ausgefüllt sind, werden nach dem Klicken der Schaltfläche **Dateien für QUEST erstellen** die Dateien **Automatik.bcl**, **Beispielprozess.scl** und **q_01_001.scl** bis **q_Lauf_Tag.scl** erstellt. Nach einem durchgeführten Simulationslauf werden die erstellten Dateien über das Formular **B - Simulationsszenario einlesen** in die Datenbank übernommen (Bild 97). Dazu muss das vorher erstellte Simulationsszenario aus der Liste ausgewählt werden und angegeben werden, in welchem Verzeichnis sich die von QUEST erstellten Dateien befinden. Anschließend können auf dem Formular **B - Simulationsszenario Ergebnisse** die Ergebnisse der Simulation (erreichte Stückzahl und Maschinenauslastung) eingesehen werden.

Die für die weitere Auswertung in ProEPM erforderlichen Informationen lassen sich mittels der BCL-Funktionen **dump part run** und **dump model run** in einer Trace-Datei speichern. Die Funktion **dump part run** erfasst die Durchlaufzeit der Parts und die Stückzahl. Über den Betrag der Abweichung der maximalen und minimalen Werte vom Durchschnitt lässt sich auf die Gleichmäßigkeit bzw. auf Störungen des Produktionsdurchlaufs schließen. Die simulierte Durchlaufzeit muss anschließend mit der analytisch ermittelten Durchlaufzeit verglichen werden. Dabei ist zu entscheiden, ob die auftretende Abweichung akzeptabel ist oder ob eine Veränderung im Modell vorgenommen werden soll. Die Funktion **dump model run** erfasst und speichert spezielle Werte für die Elementklassen **source**, **sink**, **conveyor**, **buffer** und **machine**.

7 Erfahrungen aus dem Einsatz des PC-gestützten Planungswerkzeuges ProEPM

Im Folgenden sollen die Erfahrungen aus dem Einsatz des entwickelten PC-gestützten Planungswerkzeuges ProEPM zur Unterstützung des Produktionsmanagements in der Elektronikproduktion im Maschinenbau dargestellt werden.

In einem ersten Anwendungsfall wurde das in Kapitel 3.5 entwickelte Modul zum Make-or-Buy Management in der Elektronikproduktion im Maschinenbau in einem Beispielunternehmen zur Anwendung gebracht.

Mit dem Ziel, durch Herstellen einer Anbindung der Managementebene an die Produktionssysteme auf der Prozessebene die Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Prozessebene transparent zu machen, wurde in einem zweiten Anwendungsfall das in Kapitel 4.5 entwickelte Modul zum Prozess-Engineering in der Elektronikproduktion im Maschinenbau eingesetzt. Dazu wurden für ein Beispielunternehmen Prozessmodelle der fertigungsunterstützenden Prozesse und der Fertigungsprozesse aufgebaut. Durch die analytische bzw. simulative Betrachtung der aus den alternativen Make-or-Buy Strategien resultierenden Produktionsprogramme sollten die Auswirkungen auf die Durchlaufzeiten, die Ressourcenauslastung und das Mengengerüst an produzierten elektronischen Baugruppen aufgezeigt werden.

Im Folgenden werden für die beiden obigen Anwendungsfälle, unterstützt durch beispielhafte graphische Auswertungen, die Bewertungsergebnisse aufgezeigt und diskutiert. Mit Bezug auf die Erfahrungen in dem Beispielunternehmen konnte die Praxistauglichkeit des entwickelten PC-gestützten Planungswerkzeuges ProEPM zur Unterstützung des Produktionsmanagements in der Elektronikproduktion im Maschinenbau unter Beweis gestellt werden.

7.1 Anwendung des Moduls zum Make-or-Buy Management

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Anzahl an zu treffenden Make-or-Buy Entscheidungen sollte in einem Beispielunternehmen im Rahmen eines Workshops das in Kapitel 3.5 entwickelte Modul zum Make-or-Buy Management in der Elektronikproduktion im Maschinenbau zur Anwendung gebracht werden.

Ausgangspunkt war die in Kapitel 3.2 entwickelte Bewertungssystematik Make-or-Buy für die Elektronikproduktion im Maschinenbau. Um alle von Make-or-Buy Entscheidungen betroffenen Unternehmensbereiche des Beispielunternehmens zukünftig in den Entscheidungsprozess einzubinden, wurden fünf Prozessteams für die Bereiche Fertigung, Kundenschnittstelle, Reklamation, Einkauf/Disposition und Entwicklung gebildet. Im Rahmen eines Workshops wurden von den Prozessteams die

aufgestellten Kriterienkataloge und Kriteriengewichtungen zur Beurteilung der Eigenentwicklungs- und Eigenfertigungsfähigkeit unternehmensspezifisch angepasst.

Darauf aufbauend wurde die unternehmensspezifisch angepasste Bewertungssystematik Make-or-Buy auf eine aktuell anstehende Entscheidungssituation angewendet. Untersuchungsgegenstand waren elektronische Baugruppen der Baureihe S30x, die in dem Beispielunternehmen zum gegenwärtigen Zeitpunkt zusammen mit elektronischen Baugruppe einer neuen Baureihe, deren Herstellung erst vor kurzem angelaufen ist, auf einer Rennerlinie gefertigt wurden. Entgegen ursprünglichen Erwartungen hat sich der Bedarf an elektronischen Baugruppen der neuen Baureihe sprunghaft erhöht, der Bedarf an elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x blieb weiterhin konstant. Da die Rennerlinie bereits im 3-Schichtbetrieb gefahren wurde, war eine weitere Kapazitätsausweitung auf dieser Linie nicht mehr möglich. Alternativ zur Verlagerung der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x auf eine andere Fertigungslinie sollte die Alternative Fremdbezug untersucht werden.

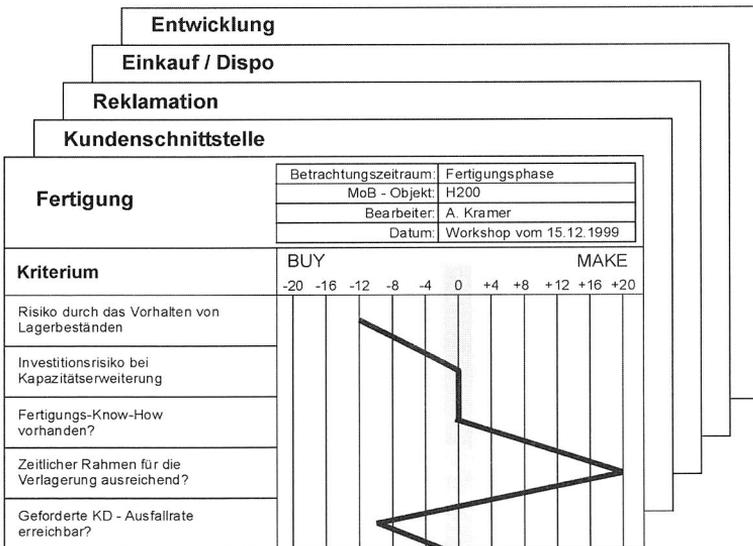


Bild 98: Bewertungsprofile für die elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x

Analog zu der in Kapitel 3.5 beschriebenen Vorgehensweise wurden für die sieben dargestellte Entscheidungssituation auf Grundlage der von den Prozessteams ausgefüllten Bewertungsformulare die Bewertungsprofile erstellt. In Bild 98 ist ein Auszug aus den resultierenden Bewertungsprofilen am Beispiel der elektronischen Baugruppe S30x dargestellt. Ohne auf alle Einzelkriterien einzugehen wurde anhand der

resultierenden Bewertungsprofile sehr schnell deutlich, dass bei dem anstehenden Entscheidungsproblem das Kriterium „Zeitlicher Rahmen für die Verlagerung ausreichend?“ zum entscheidungsrelevanten Kriterium werden würde. Für die Vorbereitung der Verlagerung der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x an einen externen Bestückungsdienstleister wäre sehr viel Zeit, beispielsweise für das Aufbereiten der Fertigungsunterlagen, erforderlich gewesen. Um gegenüber dem nachgelagerten Maschinenbau den eingegangenen Lieferverpflichtungen nachkommen zu können, stand diese Zeit jedoch nicht zur Verfügung. Deshalb wurde die elektronische Baugruppe intern auf eine andere Fertigungslinie verlagert, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt auch im 2-Schichtbetrieb nicht voll ausgelastet war. Durch kurzfristiges Einführen einer 3. Schicht konnte die zur Herstellung der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x erforderliche Kapazität bereitgestellt werden.

Die Fremdvergabe von Elektroniken ist häufig mit hohen Anlaufkosten beim externen Bestückungsdienstleister verbunden. So müssen beispielsweise Pastenschablonen beschafft sowie zusätzliche Adapter für ICT und Funktionstester erstellt werden. Eine Rückverlagerung der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x wäre für den Fall, dass sich die Stückzahlen der elektronischen Baugruppe der neuen Baureihe wieder auf ein normales Niveau einpendeln, somit wirtschaftlich nicht sinnvoll gewesen.

Zusätzlich wurde in das Entscheidungskalkül mit einbezogen, dass die Fremdvergabe der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x zu einem externen Bestückungsdienstleister auch für mögliche Folgeelektroniken unter Umständen zu Konsequenzen geführt hätte.

7.2 Anwendung des Moduls zum Prozess-Engineering

Zur weiteren Fundierung der soeben dargestellten Entscheidungssituation sollte das in Kapitel 4.5 entwickelte Modul zum Prozess-Engineering in der Elektronikproduktion im Maschinenbau herangezogen werden. Um die Make-or-Buy Strategie unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Prozessebene weiter abzusichern, wurde der in Kapitel 4 vorgestellte Ansatz des simulationsgestützten Prozess-Engineerings verfolgt (Bild 99). Die Zielsetzung dieses Ansatzes besteht darin, durch Variation der Leistungsgrenzen des Produktionssystems dasjenige Produktionsprogramm zu bestimmen, bei dem unter Berücksichtigung der vorhandenen Produktionsressourcen die Eigenfertigungs- und Fremdbezugsanteile optimal aufeinander abgestimmt sind.

Auf Grundlage des in Kapitel 4.1.2 entwickelten Branchenprozessmodells für die Elektronikproduktion im Maschinenbau wurden für das Beispielunternehmen mit Hilfe des Modellierungs- und Simulationswerkzeuges ARIS von IDS Prof. Scheer GmbH Prozessmodelle der fertigungsunterstützenden Prozesse aufgebaut. Zur Analyse der

Auswirkungen alternativer Make-or-Buy Strategien auf die Fertigungsprozesse wurde ein Fertigungsausschnitt des Beispielunternehmens, bestehend aus zwei in einer Inline-Struktur angeordneten Bestücklinien, im Simulationswerkzeug QUEST von deneb modelliert.

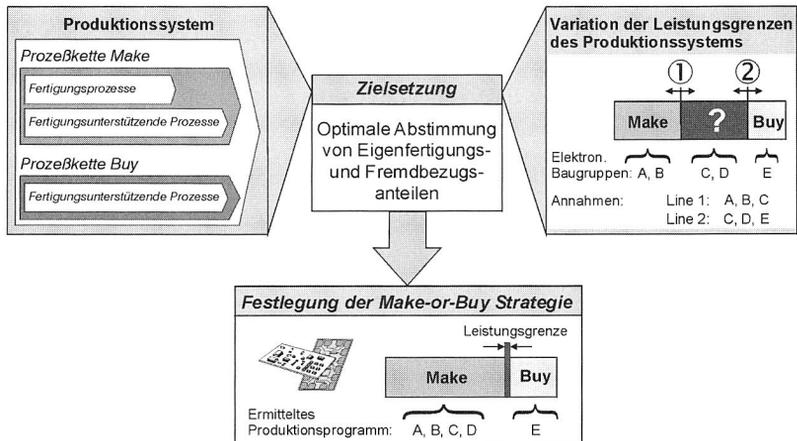


Bild 99: Absicherung von Make-or-Buy Strategien unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Prozessebene

Im Folgenden sollen sowohl für die fertigungsunterstützenden Prozesse als auch für die Fertigungsprozesse durch die analytische bzw. simulative Betrachtung der aus den alternativen Make-or-Buy Strategien resultierenden Produktionsprogramme die Auswirkungen auf die Durchlaufzeiten, die Ressourcenauslastung und das Mengengerüst an produzierten elektronischen Baugruppen aufgezeigt werden. Darauf aufbauend sollen Ansatzpunkte für die Ressourcenplanung sowohl in Bezug auf die fertigungsunterstützenden Prozesse als auch hinsichtlich der Fertigungsprozesse abgeleitet werden.

7.2.1 Analyse der Auswirkungen auf die fertigungsunterstützenden Prozesse

Zur Beurteilung der Auswirkungen der alternativen Make-or-Buy Strategien auf die fertigungsunterstützenden Prozesse wurden für das Beispielunternehmen jeweils getrennte Prozessmodelle für die Make- und Buy-Prozessketten aufgebaut. Auf Basis der Prozessmodelle sollte untersucht werden, welche Effekte die Verlagerung von elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x von der Eigenfertigung hin zum Fremdbezug auf die insgesamt anfallenden Prozesszeiten in den Teilprozessen und damit auf die Kapazitätsauslastung in den fertigungsunterstützenden Bereichen nach sich zieht.

Dazu wurde im ersten Simulationsszenario das vollständige Produktionsprogramm hinterlegt, im zweiten Simulationsszenario das vollständige Produktionsprogramm reduziert um die elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x. Für beide Simulationsszenarien wurden die Prozesszeiten in den fertigungsunterstützenden Bereichen ermittelt, die bei der Auftragsabwicklung über einen Zeitraum von sechs Monaten anfallen. Während im ersten Simulationsszenario die bei der Modellierung des Istzustandes aufgenommenen Prozessmengen der Startereignisse (Anzahl der Aufrufe pro Monat) und Wahrscheinlichkeitsprofile der Funktionen zu Grunde liegen, müssen im zweiten Simulationsszenario aufgrund des um die elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x reduzierten Produktionsprogramms sowohl die Prozessmengen der Startereignisse (Anzahl der Aufrufe pro Monat) als auch die Wahrscheinlichkeitsprofile der Funktionen abhängig von der geänderten technologischen Zusammensetzung des Produktionsprogramms angepasst werden.

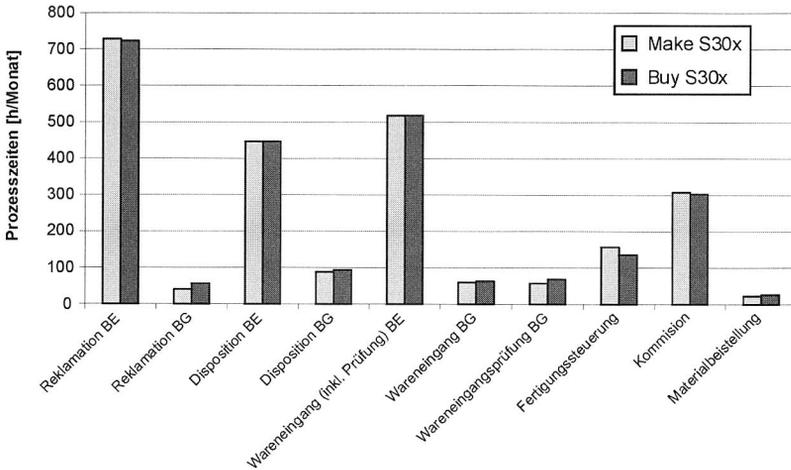


Bild 100: Simulierte Prozesszeiten für die fertigungsunterstützenden Prozesse im Fall Make und Buy

In Bild 100 sind die Simulationsergebnisse der in den modellierten Make- und Buy-Prozessketten anfallenden Prozesszeiten als monatliche Durchschnittswerte der Simulationsperiode von sechs Monaten dargestellt. Die linken Balken zeigen die Prozesszeiten für das erste Simulationsszenario, also die Fertigung des kompletten Produktionsprogramms inklusive der Eigenfertigung der elektronischen Baugruppe der Baureihe S30x, die rechten Balken zeigen die Prozesszeiten des zweiten Simulationsszenarios, also die Fertigung des resultierenden Produktionsprogramms bei einem Fremdbezug der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x.

Aus der Gegenüberstellung der Prozesszeiten für die beiden Simulationsszenarien wird ersichtlich, dass sich für den Fall der Verlagerung von elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x in der Make-Prozesskette die größte Aufwandsreduktion im Bereich Fertigungssteuerung einstellt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Anzahl an zu bearbeitenden Fertigungsaufträgen und damit die Anzahl der Startereignisse pro Monat im Fall einer Verlagerung der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x zu einem externen Bestückungsdienstleister deutlich verringert. Im Vergleich dazu ist bei dem Teilprozess Kommissionierung nur ein leichter Rückgang festzustellen. In allen anderen Teilprozessen der Make-Prozesskette kommt es durch die Verlagerung nicht zu den erwarteten Einsparungen bei den Prozesszeiten.

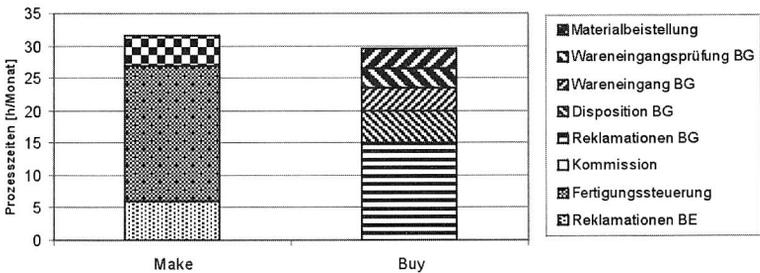


Bild 101: Resultierender Gesamtbearbeitungsaufwand für die elektronische Baugruppe der Baureihe S30x im Fall Make und Buy

Im Gegensatz dazu ist im Fall des Fremdbezuges der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x in der Buy-Prozesskette im Bereich Reklamation BG ein überproportionaler Anstieg im Vergleich zu den bereits ausgelagerten Baugruppen feststellbar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass erfahrungsgemäss im Fall der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x die Qualität der Inhouseproduktion besser ist als die des externen Bestückungsdienstleisters. Im Fall der Verlagerung gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass die mit dem nachgelagerten Maschinenbau vereinbarte Reklamationsquote nicht überschritten wird. Darüber hinaus ist in der Buy-Prozesskette im Fall des Fremdbezuges der Elektroniken eine leichte Aufwands-erhöhung in den Bereichen Disposition BG, Wareneingang BG, Wareneingangsprüfung BG sowie Materialbeistellung feststellbar.

Auf Grundlage der simulierten Prozesszeiten lassen sich auch wesentliche Rückschlüsse auf die resultierende Kapazitätsauslastung und darauf aufbauend auf Maßnahmen zur Ressourcenanpassung in den fertigungsunterstützenden Bereichen ableiten. In dem vorliegenden Anwendungsfall weisen die Simulationsergebnisse für

den Fall eines Fremdbezugs der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x auf einen Ressourcenabbau im Bereich Fertigungssteuerung und auf einen Ressourcenaufbau im Bereich Reklamation Baugruppen hin. Da jedoch die elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x kurzfristig intern auf eine andere Fertigungslinie verlagert wurden, waren in den fertigungsunterstützenden Bereichen keine Ressourcenanpassungen erforderlich.

Aus einer Differenzbetrachtung der für die beiden Simulationsszenarien simulierten Prozesszeiten lässt sich für die elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x differenziert ermitteln, in welchen Teilprozessen im Rahmen der Auftragsabwicklung ein Aufwand in welcher Höhe sowohl im Fall der Eigenfertigung als auch im Fall des Fremdbezugs verursacht wird. In Bild 101 ist der resultierende Gesamtbearbeitungsaufwand im Rahmen der Auftragsabwicklung für die elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x dargestellt. Während im Fall der Eigenfertigung der elektronischen Baugruppen der Baureihe S30x mit 21 Stunden pro Monat der größte zeitliche Aufwand auf den Teilprozess Fertigungssteuerung entfällt, entsteht im Fall des Fremdbezugs der größte zeitliche Aufwand mit 15 Stunden pro Monat für den Teilprozess Reklamation Baugruppen.

7.2.2 Analyse der Auswirkungen auf die Fertigungsprozesse

Zur Darstellung der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Fertigungsprozesse sollte mit dem Ziel der Reduktion des Datenbeschaffungsaufwandes lediglich ein Fertigungsausschnitt des Beispielunternehmens betrachtet werden. Der Fertigungsausschnitt besteht aus zwei in einer Inline-Struktur angeordneten Bestücklinien. Die beiden Linien setzen sich aus je 15 Maschinen zusammen, die starr über Transportbänder verkettet sind. In den beiden Linien kommen Bestücker unterschiedlicher Hersteller zum Einsatz. Während die Linie 1 im Hinblick auf Durchsatz optimiert ist, wurde die Linie 2 im Hinblick auf Flexibilität ausgelegt. Die den Maschinen zu Grunde liegenden Bearbeitungsdaten inklusive Rüstzeiten und Störprofile wurden in Abhängigkeit von den herzustellenden elektronischen Baugruppen sowohl im Planungswerkzeug ProEPM als auch in dem aufgebauten Simulationsmodell in QUEST, das über die in Kapitel 6 beschriebene Schnittstelle an ProEPM gekoppelt ist, hinterlegt.

Im Rahmen dieses Anwendungsfalls sollte ein Produktspektrum betrachtet werden, das insgesamt acht unterschiedliche elektronische Baugruppen umfasst, die sich in drei Produktfamilien gruppieren lassen.

- Produktfamilie 1 besteht aus den elektronischen Baugruppen A, B und C. Dabei handelt es sich um rein SMD-bestückte Baugruppen.

- Produktfamilie 2 setzt sich aus den elektronischen Baugruppen D, E und F zusammen. Die elektronischen Baugruppen sind in Mischtechnologie mit einem sehr hohen THD-Anteil aufgebaut.
- Produktfamilie 3 umfasst die elektronischen Baugruppen G und H. Dabei handelt es sich ebenfalls um in Mischtechnologie aufgebaute elektronische Baugruppen, jedoch mit einem im Vergleich zur Produktfamilie 2 deutlich geringeren THD-Anteil.

In dem Anwendungsfall gehören die Baugruppen A und B aus technologischen Gründen zu den Kernkompetenzen des Beispielunternehmens, deshalb kommt kein Fremdbezug in Betracht. Bei Baugruppe C sind die benötigten Stückzahlen stark schwankend. Sie wurde deshalb dem Fremdbezug zugeordnet. Baugruppe D berührt ebenfalls die Kernkompetenz des Unternehmens, deshalb ist eine Eigenfertigung wünschenswert. Allerdings verursacht es viele Störungen während der Produktion. Baugruppe E ist in einer neuen Aufbau- und Verbindungstechnik aufgebaut und soll mit Blick auf die strategische Relevanz dieser Technologie eigengefertigt werden. Für Baugruppe F gibt es keine Präferenzen, Baugruppe G ist die Cash Cow im Produktportfolio. Es besteht eine konstant hohe Nachfrage nach dieser elektronischen Baugruppe und die Fertigung läuft problemlos. Die Nachfrage nach Baugruppe H ist ebenfalls stark schwankend, deshalb soll diese Baugruppe fremdbezogen werden.

Die geforderten Stückzahlen und die zu fertigenden Losgrößen der Produkte wurden sowohl in ProEPM als auch in dem aufgebauten Simulationsmodell in QUEST hinterlegt.

Unter Berücksichtigung der obigen Randbedingungen sollten die aus den unterschiedlichen Make-or-Buy Strategien resultierenden Produktionsprogramme näher untersucht werden. Im Folgenden werden sieben unterschiedliche Produktionsprogramme aufgestellt. Die Zusammensetzung der zu analysierenden Produktionsprogramme ist in Bild 102 dargestellt. Die Produktionsprogramme 1 und 2 unterscheiden sich von den Produktionsprogrammen 6 und 7 lediglich im Hinblick auf die zu Grunde gelegten Losgrößen. Während bei den Produktionsprogrammen 1 und 2 die Losgröße 200 hinterlegt wurde, wurde bei den Produktionsprogrammen 3 und 4 von der Losgröße 400 ausgegangen.

BG	PGM 1	PGM 2	PGM 3	PGM 4	PGM 5	PGM 6	PGM 7
A	●	●	●	●	●	●	●
B	●	●	●	●	●	●	●
C	●			●	●	●	

D	●	●	●		●	●	●
E	●	●	●		●	●	●
F	●		●		●	●	
G	●	●	●	●		●	●
H	●			●		●	

Bild 102: Unterschiedliche Produktionsprogramme zum Nachweis der Auswirkungen alternativer Make-or-Buy Strategien

Um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Produktionsprogramme herzustellen, wurde zusätzlich festgelegt, dass eine elektronische Baugruppe entweder eigengefertigt oder fremdbezogen wird, ein Splitten der Aufträge also nicht zugelassen ist.

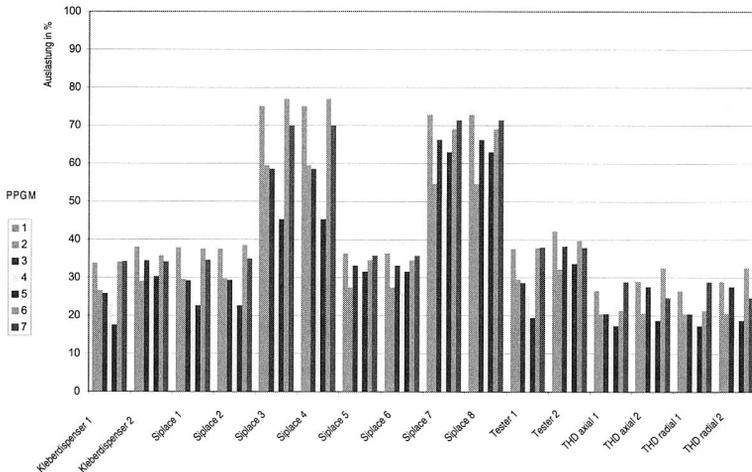


Bild 103: Analytisch ermittelte Kapazitätsauslastung der Maschinen über die unterschiedlichen Produktionsprogramme

Bild 103 zeigt die analytisch ermittelte Kapazitätsauslastung der Maschinen über die unterschiedlichen Produktionsprogramme. Die Kapazitätsauslastung wurde mit Hilfe des Planungswerkzeuges ProEPM nach der in Kapitel 4.4.3 entwickelten Analytik ermittelt. In dieser Darstellung ist sehr deutlich der Einfluss der unterschiedlich großen Mengen an produzierten Produkten zu erkennen. Die Auslastungswerte die Bestücker liegen weit auseinander, wie es die unterschiedlichen Stückzahlen der Produktionsprogramme erwarten lassen. Weiterhin fällt auf, dass sich die Auslastung

der Maschinen durch zusätzliche Einflüsse wie Rüstzeit und fehlende Aufträge stark reduziert.

Bild 104 zeigt die simulativ ermittelte Kapazitätsauslastung der Maschinen über die unterschiedlichen Produktionsprogramme. Die Kapazitätsauslastung wurde mit Hilfe des Planungswerkzeuges ProEPM ermittelt, indem das Planungswerkzeug ProEPM mit der in Kapitel 6 beschriebenen Schnittstelle zum Simulationswerkzeug QUEST gekoppelt wurde. In dieser Darstellung ist erkennbar, dass Abweichungen zu den analytisch ermittelten Auslastungen bestehen. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass in der Analytik das dynamische Verhalten der Maschinen und die Störprofile nicht berücksichtigt werden können. Tendenziell liefert die Analytik in diesem Anwendungsbeispiel jedoch das gleiche Ergebnis wie die Simulation, bei einem deutlich reduzierten Aufwand.

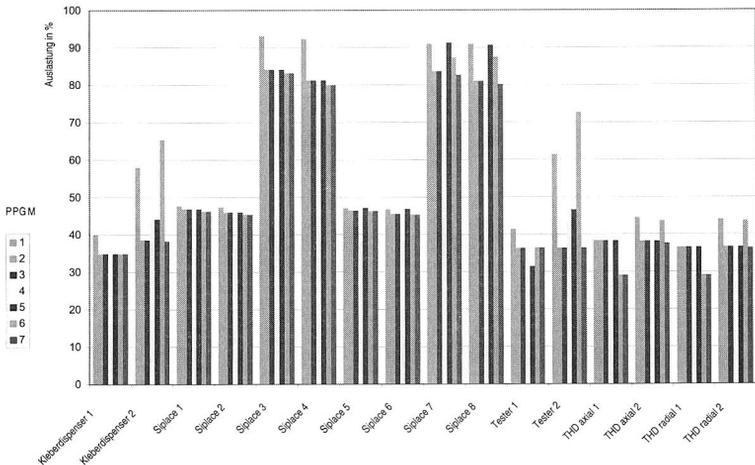


Bild 104: Simulativ ermittelte Kapazitätsauslastung der Maschinen über die unterschiedlichen Produktionsprogramme

Ein weiteres Kriterium, das für die Beurteilung der aus den unterschiedlichen Make-or-Buy Strategien resultierenden Produktionsprogramme herangezogen wurde, ist die Ausbringungsmenge der produzierten Baugruppen. Hier wird nicht mit einem fest vorgegebenen Bedarf an Produkten gerechnet, sondern angenommen, dass während der verfügbaren Zeit ohne Unterbrechung produziert wird. Auf diese Weise lässt sich leichter erkennen, welche der elektronischen Baugruppen die Produktion bremsen. Zusätzlich wird angezeigt, welcher maximale Bedarf an Baugruppen gedeckt werden kann.

Für die Ermittlung der maximal erreichbaren Stückzahl wurde eine maximale Arbeitszeit von 12 Stunden pro Tag und 24 Tagen pro Monat über einen Zeitraum von 6 Monaten angenommen. Bild 105 zeigt die analytisch ermittelte Ausbringungsmenge der elektronischen Baugruppen pro Monat über die unterschiedlichen Produktionsprogramme, die als Durchschnittswert über den Zeitraum von 6 Monaten ermittelt wurde. Die Ausbringungsmenge der produzierten Baugruppen wurden mit Hilfe des Planungswerkzeuges ProEPM nach der in Kapitel 4.4.3 entwickelten Analytik ermittelt.

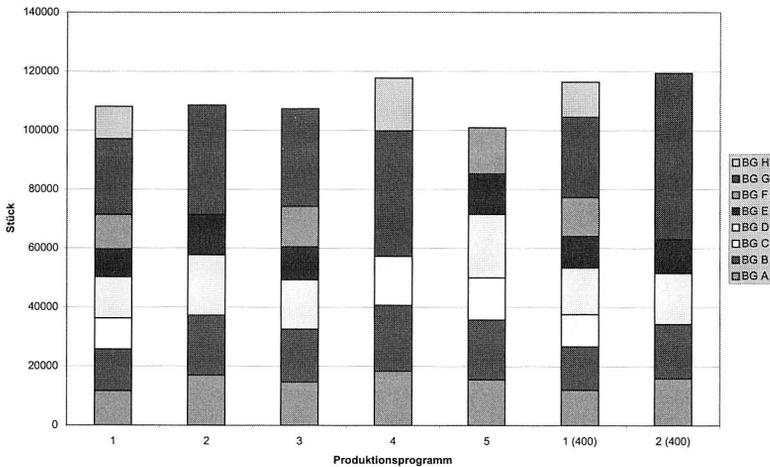


Bild 105: Analytisch ermittelte Ausbringungsmenge über die unterschiedlichen Produktionsprogramme

Bild 106 zeigt die simulativ ermittelte Ausbringungsmenge der produzierten Baugruppen über die unterschiedlichen Produktionsprogramme. Ein Vergleich der Differenz der ermittelten Stückzahlen zwischen Simulation und Analytik zeigt, dass die Analytik eine deutlich höhere Ausbringungsmenge liefert als die Simulation. In beiden Fällen lässt sich unter Berücksichtigung des Kriteriums Ausbringungsmenge das Produktionsprogramm 4 als leistungsfähigstes Produktionsprogramm ausmachen. Dass das Produktionsprogramm 4 bezüglich der Kapazitätsauslastung so schlecht abgeschnitten hat, liegt daran, dass das Potenzial der Anlage beim bestehenden Bedarf nicht ausgeschöpft wird.

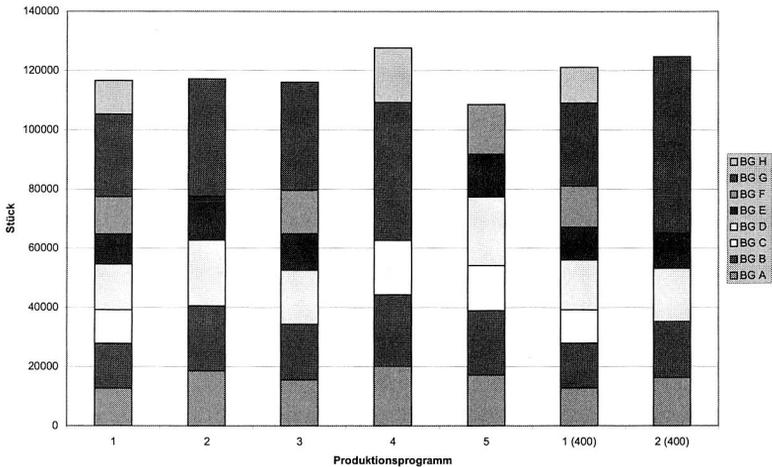


Bild 106: Simulativ ermittelte Ausbringungsmenge über die unterschiedlichen Produktionsprogramme

Die hier für die den unterschiedlichen Produktionsprogrammen zu Grunde liegenden Make-or-Buy Strategien ermittelten Kennzahlen bezüglich der Kapazitätsauslastung und der Ausbringungsmenge können in die Bewertungsprofile des Planungswerkzeuges ProEPM übernommen werden.

Auf Grundlage der Kennwerte Kapazitätsauslastung und Ausbringungsmenge lassen sich auch wesentliche Rückschlüsse auf einzuleitende Maßnahmen zur Ressourcenanpassung in den Fertigungsbereichen ableiten. So führt beispielsweise Produktionsprogramm 4 nicht nur zu der höchsten Ausbringungsmenge, sondern bietet aufgrund der geringen Kapazitätsauslastung auch das höchste Potenzial, wenn in Zukunft mit steigender Nachfrage nach elektronischen Baugruppen gerechnet wird.

8 Zusammenfassung

In der Elektronikproduktion ist die Einschätzbarkeit der Marktsituation aufgrund der raschen technologischen Veränderungen dramatisch zurückgegangen [34]. Vor dem Hintergrund der Forderung nach einer zunehmenden Wandlungsfähigkeit der Unternehmen rücken „flankierend zum Lötropfen“ Fragestellungen des Produktionsmanagements stärker in den Mittelpunkt der Betrachtung.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, ein modulares Planungswerkzeug zur Unterstützung des Produktionsmanagements in der Elektronikproduktion zu entwickeln. Um die Wandlungsfähigkeit der Elektronikproduzenten zu steigern, sollte das modulare Planungswerkzeug das Produktionsmanagement bei Planungsaufgaben sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Ebene unterstützen. Dies schließt die vollständige Beurteilung von Veränderungen der Produktionsstrategie sowie von Maßnahmen zur Prozessgestaltung als Reaktion auf technologische oder kapazitive Veränderungen mit ein.

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist eine Analyse der technologischen und organisatorischen Trends in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau. Neben dem äußerst ungünstigen Spannungsfeld von high-tech und low-volume stellt aus Sicht der Elektronikproduktion im Maschinenbau die Abkündigung von Funktionsbausteinen aufgrund der langen Lebenszyklen der Produkte des nachgelagerten Maschinen- und Gerätebaus ein spezifisches Problem dar.

Die Forderung nach zunehmender Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen steht in engem Zusammenhang mit dem Make-or-Buy Entscheidungsproblem. Dies resultiert nicht zuletzt daraus, dass mit zunehmend raschen Technologiezyklen in der Elektronikproduktion auch Make-or-Buy Entscheidungen immer häufiger durchgeführt werden müssen. Die Gefahr von Know-how Verlusten infolge von Fehlentscheidungen ist in der Elektronikproduktion aufgrund des raschen technologischen Wandels besonders hoch. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Modul zum Make-or-Buy Management entwickelt. Das Modul sieht die Möglichkeit vor, in Abhängigkeit von unterschiedlichen Make-or-Buy Objekten eine differenzierte Bewertung, beispielsweise in Abhängigkeit von der Produktlebenszyklusphase einer elektronischen Baugruppe, vorzunehmen. Wesentliche Bestandteile der aufgestellten Bewertungssystematik Make-or-Buy stellen Kriterienkataloge zur Beurteilung der Eigenentwicklungs- und Eigenfertigungsfähigkeit dar.

Ein zentrales Problem des heutigen Produktionsmanagements auf der taktisch-operativen Ebene besteht darin, dass Daten aus der Prozessebene zur vollständigen Beurteilung von Veränderungen der Produktionsstrategie sowie von Maßnahmen zur

Prozessgestaltung als Reaktion auf technologische oder kapazitive Veränderungen häufig nicht vorliegen. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen dieser Arbeit der Ansatz des simulationsgestützten Prozess-Engineerings entwickelt. Grundlage für die Durchführung des simulationsgestützten Prozess-Engineerings ist das für die Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau entwickelte Branchenprozessmodell, das sowohl die Fertigungsprozesse als auch die fertigungsunterstützenden Prozesse umfasst.

Um einen schnellen Zugriff auf die Daten aus der Prozessebene sicherzustellen, wurde das Werkzeug Simulation als Bewertungsmethode in das Modul zum Prozess-Engineering eingebunden. Durch den kombinierten Einsatz von Geschäftsprozess- und Ablaufsimulation können beispielsweise die Wirkzusammenhänge zwischen alternativen Make-or-Buy Strategien und den zu Grunde liegenden Geschäfts- und Produktionsprozessen aufgezeigt werden. Parallel zum Einsatz der Simulationswerkzeuge QUEST für die Ablaufsimulation und ARIS für die Geschäftsprozesssimulation wurde ein einfaches, analytisches Berechnungsverfahren zur Analyse der Auswirkungen von Make-or-Buy Entscheidungen auf die Produktionsprozesse hergeleitet. Der Einsatz von Simulationswerkzeugen im Rahmen des Produktionsmanagements trägt dazu bei, die Risiken infolge von Fehlentscheidungen zu reduzieren. Darüber hinaus liefert die Simulation wertvolle Daten aus der Prozessebene, beispielsweise zur Beurteilung der Auswirkungen unterschiedlicher Make-or-Buy Strategien auf die Ressourcenauslastung im Zuge der Umsetzung von Make-or-Buy Strategien.

Mit dem Ziel, das Produktionsmanagement sowohl auf der strategischen als auch auf der taktisch-operativen Ebene zu unterstützen und damit die Wandlungsfähigkeit der Unternehmen zu erhöhen, wurden das entwickelte Modul zum Make-or-Buy Management und das entwickelte Modul zum Prozess-Engineering über ein gemeinsames Datenmodell zu einem modularen Planungswerkzeug integriert.

Die Beurteilung der Maßnahmen im Rahmen des Produktionsmanagements unter Berücksichtigung des kostenstrukturverändernden Charakters erfolgt auf Grundlage des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Ansatzes zur simulationsgestützten Wirtschaftlichkeitsanalyse. Die Idee dieses Ansatzes besteht darin, das Werkzeug Simulation mit Elementen der Kostenrechnung zu koppeln. Bezugspunkt für das Aufstellen eines Kostenmodells ist wiederum das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Branchenprozessmodell. Dabei stellen die Leistungsdaten der Simulation wertvolle Eingangsinformation aus der Prozessebene dar. Eine Vergleichbarkeit der Maßnahmen im Rahmen des Produktionsmanagements unter Berücksichtigung der im Unternehmen vorhandenen Rationalisierungspotenziale erfolgt auf Basis der Pro-

zesskostensätze für die fertigungsunterstützenden Prozesse sowie auf Basis der dynamischen Linien- bzw. Maschinenstundensätze für die Fertigungsprozesse.

Mit Blick auf die zunehmende Bedeutung von Produktionsnetzen wurde das entwickelte, modulare Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau auf Produktionsnetze erweitert. Durch diese zusätzliche Dimension der Wandlungsfähigkeit wird der Zugriff auf Technologien, die im Unternehmen nicht vorhanden sind, erleichtert sowie der Ausgleich von Belastungsschwankungen unterstützt. Zusätzlich wurden zwei Ansätze zur kooperativen Planung von verteilten Fertigungsstandorten, nämlich ein Ansatz zum Grunddaten-Management und ein Ansatz zum Web-based Simulation, vorgestellt.

Auf Grundlage der vorgestellten Ansätze wurde in Microsoft ACCESS das PC-gestützte Planungswerkzeug ProEPM (Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion im Maschinenbau) implementiert. Das Planungswerkzeug unterstützt eine systematische Vorgehensweise im Rahmen des Produktionsmanagements und gibt somit unternehmerischen Entscheidungen eine sichere Basis. Besonderer Wert wurde dabei auf die durchgängige Benutzerführung gelegt. Um den Aufwand für die Akquisition der erforderlichen Plandaten zu minimieren, wurde exemplarisch für weitere Schnittstellen die Schnittstelle zu dem Simulationswerkzeug QUEST von Deneb prototypisch implementiert.

Abschließend wurden anhand von zwei Anwendungsbeispielen die Erfahrungen aus dem Einsatz des entwickelten PC-gestützten Planungswerkzeuges ProEPM zur Unterstützung des Produktionsmanagements in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau dargestellt. Die Ergebnisse wurden durch beispielhafte graphische Auswertungen aufgezeigt und diskutiert.

Mit Bezug auf die Erfahrungen, die in einem Beispielunternehmen im Rahmen eines Workshops gemacht wurden, konnte die Praxistauglichkeit des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten PC-gestützten Planungswerkzeuges ProEPM zur Unterstützung des Produktionsmanagements in der Elektronikproduktion im Maschinen- und Gerätebau unter Beweis gestellt werden.

Literatur

- 1 Anderson, E.; Weitz, B. A.:
Make-or-Buy Decisions: Vertical Integration and Marketing Productivity. Sloan Management Review (1996) Spring, p. 3-19
- 2 Andreas, D.; Reichle, W.:
Selbst Fertigen oder Kaufen? VDMA, Abteilung Betriebswirtschaft, Maschinenbau-Verlag, Frankfurt, 1988
- 3 Angele S.; Rabe, M.; Scholz, I.; Schulze, Th.; Straßburger, S.:
Austauschbarkeit und Kopplung von Modellen. In: Wenzel, S. [Hrsg.]: Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik, Society for Computer Simulation International, Ghent, 2000
- 4 Baumgarten, H.:
Prozesskettenmanagement. In: Kern, W. [Hrsg.]: Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1996
- 5 Bauske, J.:
Objektorientiertes Verfahren zur Optimierung von Geschäftsprozessen unter Verwendung eines genetischen Algorithmus. Dissertation, Springer, Berlin, 1999
- 6 Behara, R. S.; Gundersen, D. E.; Capozzoli, E. A.:
Trends in Information Systems Outsourcing. Journal of Purchasing and Materials Management (1995) 2, p. 45-51
- 7 Berkau, C.:
Vernetztes Prozesskostenmanagement – Konzeption und Realisierung mit einem Blackboardsystem. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1995
- 8 Binner, H. F.:
Integriertes Organisations- und Prozessmanagement. REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung, Hanser, München, 1997
- 9 Bley, H.; Wuttke, C.:
Distributed Simulation Applied to Production Systems. Annals of the CIRP (1997) Vol. 46/1, S. 361-364
- 10 Bliesener M.:
Outsourcing als mögliche Strategie zur Kostensenkung. Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, nwb Verlag, Herne, Berlin, 1994
- 11 Bünting, F.; Leyendecker, H.-W.:
Zwischenbetrieblicher Vergleich, Kennzahlen und Informationen aus dem Fertigungsbereich. VDMA Betriebswirtschaft, BwZ 64, 1998

- 12 Bullinger, H.-J., Warnecke, H.-J.:
Neue Organisationsformen im Unternehmen – ein Handbuch für das moderne Management. Springer, Berlin, 1996
- 13 Burgstaller, B.:
Synchronisation von Produkt- und Produktionsentwicklung mit Hilfe des Technologiekalenders. Dissertation, Vulkan Verlag, 1997
- 14 Buse, H.-P.; Pfohl, H.-Ch.; Ollesky, K.; Beckmann, B.:
Bedeutung logistischer Fähigkeiten für die Auswahl von Netzwerkunternehmen. In: Tagungsband zur Fachveranstaltung Wandelbare Produktionsnetze, Dortmund, 1997
- 15 Casagrande, M.:
Industrielles Service-Management. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994
- 16 Cen, I. N.:
Produktionsstrategien auf der Basis von Kernkompetenzprozessen. Dissertation, Universität St. Gallen, 1995
- 17 Cervellini, U.:
Marktorientiertes Gemeinkostenmanagement mit Hilfe der Prozesskostenrechnung. Controlling (1994) 2, S. 64-72
- 18 Cooper, R.; Kaplan, R. S.:
Measure Costs Right, Make the Right Decisions. Harvard Business Review (1988) 1-2, p. 64-73
- 19 Dangelmaier, W.:
Vision Logistik: Logistik wandelbarer Produktionsnetze. HNI-Verlagsschriftenreihe Nr. 31, Paderborn, 1997
- 20 Davenport, T. H.:
Process Innovation. Reengineering Work Through Information Technology. Harvard Business School Press, Boston, 1993
- 21 Dernbach, W.:
Geschäftsprozessoptimierung. In: Nippa, M.; Picot, A. [Hrsg.]: Prozessmanagement und Reengineering. Das Erfolgsrezept von Hammer/Champy auf dem Prüfstand. Campus Verlag, Frankfurt, New York, 1996
- 22 Dittler, Th.:
Das Systemgeschäft – worauf es ankommt. Harvard Business Manager (1995) 4, S.29-34
- 23 Eidenmüller, B.:
Die Produktion als Wettbewerbsfaktor. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1995

- 24 Eigler, H.; Beyer, W.:
Moderne Produktionsprozesse der Elektrotechnik, Elektronik und Mikrosystemtechnik.
Expertverlag, Renningen, 1996
- 25 Eversheim, W.; Humburger, R.; Pollack, A.:
Wirtschaftlicher Verfahrenvergleich mit prozessorientierter Kalkulation. IO
Management Zeitschrift (1994) 5, S. 41-46
- 26 Eversheim, W.; Heyn, M.:
Optimale Leistungstiefe – Gestalten von Wertschöpfungsketten durch Make-or-Buy.
VDI-Z (1995) 11-12, S. 32-35
- 27 Faisst, W.:
Die Unterstützung Virtueller Unternehmen durch Informations- und
Kommunikationssysteme – eine lebenszyklusorientierte Analyse. Dissertation, FAU
Erlangen-Nürnberg, 1998
- 28 Feldmann, K.; Rottbauer, H.; Roth, N.:
Relevance of Assembly in Global Manufacturing. Annals of the CIRP 45/2, Como, 1996
- 29 Feldmann, K.; Colombo, A. W.; Rauh, E.; Rottbauer, H.:
Combining Discrete-Event Control and Simulation-based Monitoring for Supervisory
Functions. In: Proc. of the 1st Conference on Management and Control of Production
and Logistics, MCPL '97, Campinas, Brazil, 1997, p. 205-210
- 30 Feldmann, K.; Rottbauer, H.:
Achieving and Maintaining Competitiveness by Electronically Networked and Globally
Distributed Assembly Systems. Manufacturing Systems (1998) No.4, p. 369-374
- 31 Feldmann, K.; Rottbauer, H.; Stöckel, Th.:
Information Systems Architecture for Collaborative Manufacturing in Virtual Enterprises.
Proceedings of the Prolamat, Trento, 1998
- 32 Feldmann, K.; Rottbauer, H.:
Elektronikproduktion – Strategisches Produktionsfeld im globalen Wettbewerb. In:
Feldmann, K. (Hrsg.): TCW-report Elektronikproduktion. Transfer-Centrum, München,
1999
- 33 Feldmann, K.; Rottbauer, H.:
Electronically Networked Assembly Systems for Global Manufacturing. In: Proc. of the
15th International Conference on Computer-Aided Production Engineering, CAPE'99,
University of Durham School, Durham, 1999, p. 551-556
- 34 Feldmann, K.; Rottbauer, H.:
Simulationsgestütztes Prozess-Engineering. Zwf (1999) 7-8, S. 427-430

- 35 Feldmann, K.; Rottbauer, H.; Hilbig, H.:
Benchmarkstudie Elektronikproduktion im Maschinenbau. VDI-Erfakreis
Elektronikproduktion im Maschinenbau, Lehrstuhl FAPS, Universität Erlangen, 1999
- 36 Feldmann, K.; Schlögl, W.:
Integrated Modelling and Simulation of Manufacturing Systems – Exemplary in
Electronics Production. In: Proc. of 32nd CIRP International Seminar on Manufacturing
Systems, Leuven/Belgien, 1999, p. 369-378
- 37 Feldmann, K.; Pitter, F.:
Produktionstechnik zur Integration von Mikrokomponenten auf miniaturisierte
Baugruppen. Expertise im Rahmenkonzept Forschung für die Produktion von morgen,
Lehrstuhl FAPS, Universität Erlangen, 2000
- 38 Feldmann, K.; Rottbauer, H.:
Supporting Make-or-Buy Decisions by Simulation. In: Production Engineering, Annals of
the German Academic Society for Production Engineering, Vol. VII/2, Hanser, 2000
- 39 Föhrenbach, A.; Grunow, M.; Günther, H.-O.:
Simulationsgestützte Optimierung in der Elektronikmontage. Zwf (1998) 6, S. 255-258,
1999
- 40 Freund, B.:
Progress in Microelectronics and Miniaturisation as Driving Forces for the Printed
Circuit Board Industry. Printed Circuit World Convention VII, Basel, 1996
- 41 Gambino, A. J.:
The Make-or-Buy Decision. Hamilton, New York, 1980
- 42 Gailing, E.:
Strategien zur wirtschaftlichen Produktion von elektronischen Baugruppen. Eugen G.
Leuze Verlag, Saugau/Würt., 1999
- 43 Gaitanides, M.; Müffelmann, J.:
Standardisierung komplexer Prozesse im strategischen Kontext. Zwf (1996) 5, S. 195-
198
- 44 Gaitanides, M.:
Prozessmanagement – Konzepte, Umsetzungen und Erfahrungen des Reengineering.
Hanser, München, 1994
- 45 Gaitanides, M.:
Prozessorganisation. In: Kern, W. [Hrsg.]: Handwörterbuch der Produktionswirtschaft,
Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1996
- 46 Goldstein, B.:
Modellgestützte Geschäftsprozessgestaltung in der Produktentwicklung. Dissertation,
iwb Forschungsberichte Nr. 123, Springer, Berlin, 1999

- 47 Gupta, J. C.:
Marktinduziertes Ressourcen- und Kostenmanagement. Dissertation. Shaker, Aachen, 1998
- 48 Holland, C.P.:
Cooperative Supply Chain Management: The Impact of Interorganizational Information Systems. *Journal of Strategic Information Systems* (1995) 4, S. 117-133
- 49 Haller, W. F.:
Bewertungssystematik für Make-or-Buy Entscheidungen in der Forschung. *io Management* (1994) 10, S. 69-73
- 50 Hanewinkel, F.:
Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Geschäftsprozessen. Dissertation, VDI Fortschritt-Berichte Reihe 16, Nr. 71, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1994
- 51 Heimberg, R.; Frey, K.:
CAPE – Computer Aided Production Engineering. *Engineering Management* 1997/98, E 27-29
- 52 Hess, Th.:
Entwurf betrieblicher Prozesse. Dissertation, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1996
- 53 Horvath, P.; Herter, N.:
Benchmarking – Vergleich mit den Besten der Besten. *Controlling* (1992) 1, S. 4-11
- 54 Horvath, P.; Mayer, R.:
Prozesskostenrechnung – Konzeption und Entwicklung. *Krp-Kostenrechnungspraxis* (1993) 2, S. 15-28
- 55 Horvath & Partner (Hrsg.):
Qualitätscontrolling. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1997
- 56 Horvath, P.; Gleich, R.:
Prozess-Benchmarking in der Maschinenbauindustrie. *ZwF* (1998) 7-8, S. 325-329
- 57 Horvath, P.; Mayer, R.:
Prozesskostenrechnung – State of the Art. In: Horvath, P. [Hrsg.]:
Prozesskostenmanagement, Vahlen Verlag, München, 1998
- 58 Horvath, P.; Renner, A.:
Prozesskostenrechnung – Konzept, Realisierungsschritte und erste Erfahrungen. *FB/IE* (1999) 3, S. 100-107
- 59 Iazeolla, G.; D'Ambrogio, A.:
A Web Based Environment for the Reuse of Simulation Models. *Proceedings of the 1998 International Conference on Web-Based Modeling & Simulation, San Diego, 1998*

- 60 Kang, A.; Siebiera, G.:
Outsourcing - Entscheidungen ganzheitlich betrachtet. *Industrie Management* (1997) 5,
S. 41-45
- 61 Keller, G.; Nüttgens, M.; Scheer, A.-W.:
Semantische Prozessmodellierung auf der Grundlage Ereignisgesteuerter
Prozessketten (EPK). Arbeitsbericht des Instituts für Wirtschaftsinformatik 89,
Universität Saarbrücken, 1992
- 62 Kemmner, G. A.:
Entwicklung eines Kriterienkataloges zur Überprüfung der Möglichkeiten des
Fremdbezugs von Leistungen indirekter Bereiche. Schlussbericht zum AIF-
Forschungsvorhaben Nr. 8339, RWTH Aachen, 1992
- 63 Klein, S.:
Virtuelle Maschinenkapazität: Der Weg zur Losgröße 1. *Productronic* (1994) 8-9, S. 18-
24
- 64 Kossel, A.:
Innere Sicherheit – Sichere Intranet-Lösungen. *C't* (1996) Heft 10, S.332-334
- 65 Krcmar, H.; Schwarzer, B.:
Prozessorientierte Unternehmensmodellierung. In: Scheer, A.-W. [Hrsg.]:
Prozessorientierte Unternehmensmodellierung, Schriften zur Unternehmensführung,
Band 53, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994
- 66 Kühne, A.:
Benchmarking – Ein Mittel zur Leistungssteigerung. *ZfB* (1995) 2, S. 41-47
- 67 Kuhn, A.; Reinhardt, A.; Wiendahl, H.-P.:
Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik. Shaker, Aachen, 1994
- 68 Kuhn, A.:
Prozessketten in der Logistik, Entwicklungstrends und Umsetzungsstrategien. Verlag
Praxiswissen, Dortmund, 1995
- 69 Kyas, O.:
Sicherheit im Internet. MITP-Verlag, Bonn, 1999
- 70 Lawrence, P. R.:
Beyond Vertical Integration – the Rise of the Value-Adding Partnership. *Harvard
Business Review* (1988) 4, p. 94-101
- 71 Liedl, G.:
Integriertes Automatisierungskonzept für den flexiblen Materialfluss in der
Elektronikproduktion. Dissertation, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996

- 72 Linnhoff, M.:
Eine Methodik für das Benchmarking von Entwicklungskooperationen. Dissertation, Shaker Verlag, Aachen, 1996
- 73 Lippert, I.:
Zwischen Pfadabhängigkeit und radikalem Wandel – Neuordnung von Prozessketten im internationalen Maschinenbau. WZB, Berlin, 1999
- 74 Luczak, H.; Klaus, M.; Hinschläger, M.:
Durch Fremdbezug zum schlanken Unternehmen. In: Zülch, G. [Hrsg.]: Vereinfachen und Verkleinern – die neuen Strategien in der Produktion. Schäffer-Poeschel, 1994
- 75 Männel, W.:
Wahl zwischen Eigenfertigung und Fremdbezug. Verlag der GBA, Lauf, 1995
- 76 Männel, W.:
Prozesskostenmanagement. In: Berkau, C.; Hirschmann, P. [Hrsg.]: Kostenorientiertes Geschäftsprozessmanagement – Methoden, Werkzeuge, Erfahrungen. Vahlen Verlag, München, 1996
- 77 McKinsey&Company:
Excellence in Electronics, 1993
- 78 Melchert, M.:
Entwicklung einer Methode zur systematischen Planung von Make-or-Buy Entscheidungen. Shaker Verlag, 1992
- 79 Melzig, M.; Birli, O.; Münsterweg, B.; Trowitzsch, Ch.:
Systemengineering in der Prozesskette. In: VDI-Berichte Nr. 1315 Mechatronik im Maschinen- und Fahrzeugbau, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997
- 80 Mertens, P.:
Virtuelle Unternehmen. Wirtschaftsinformatik (1994) 2, S. 169-172
- 81 Mertins, K.; Süssenguth, W.; Jochem, R.:
Modellierungsmethoden für rechnerintegrierte Produktionsprozesse. Hanser, München, 1994
- 82 Mertins, K.; Siebert, G.; Kempf, S.:
Benchmarking – Praxis in deutschen Unternehmen. Springer, Berlin, 1995
- 83 Mikus, B.:
Make-or-Buy Entscheidungen in der Produktion. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998
- 84 Milling, P.; Zäpfel, G.:
Betriebswirtschaftliche Grundlagen moderner Produktionsstrukturen. Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, Herne/Berlin, 1993

-
- 85 Möller, J.:
Kennliniengestützte Auslegung von Fabrikstrukturen. Dissertation, VDI Fortschritt-Berichte Reihe 2, Nr. 389, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996
- 86 Mutzke, H.; Struggalla, R.:
Simulationsgestützte Planung einer Elektronikfertigung. *ZwF* (1996) 1-2, S. 41-43
- 87 Nohe, P.:
Methode zur ergebnisorientierten Gestaltung von Entwicklungsprozessen. Dissertation, Springer, Berlin, 1999
- 88 Nyhuis, P.:
Erschließung logistischer Rationalisierungspotenziale in der Baugruppenfertigung. Tagungsband zur 1. PROFED-Tagung, 6. und 7. März 1998, Rüsselsheim; 1998
- 89 N.N.:
Der Maschinenbau lebt zunehmend von Elektronik und IT. *Markt&Technik* (1998) Nr. 29, S. 20-25
- 90 N.N.:
Deutscher Maschinenbau – Nur durch Know-how Einkäufe wirklich fit für die Zukunft. VDI-N, 1997, Nr. 27, S.24
- 91 Object Management Group:
The Common Object Request Broker: Architecture and Specification. Revision 2.2. Dokument Nr. 98-02-01, Object Management Group (<http://www.omg.org>), 1998
- 92 Osterloh, M.; Frost, J.:
Prozessmanagement als Kernkompetenz. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998
- 93 Petermann, D.:
Modellbasierte Produktionsregelung. *Fortschritt-Berichte VDI/20*, Nr.193, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996
- 94 Picot, A.; Dietl, H.:
Transaktionskostentheorie. *WiST* (1990) 19, S. 178-184
- 95 Pielok, Th.:
Prozesskettenmodulation – Management von Prozessketten mittels Logistic Function Deployment. Dissertation, Verlag Praxiswissen, Dortmund, 1995
- 96 Pöhlau, F.:
Entscheidungsgrundlagen zur Einführung räumlich spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID). Dissertation, Meisenbach Verlag, 1999
- 97 Porter, M. E.:
Wettbewerbsvorteile. Campus Verlag, Frankfurt, New York, 1986

- 98 Rauh, E.:
Methodische Einbindung der Simulation in die betrieblichen Planungs- und Entscheidungsabläufe. Dissertation, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1998
- 99 Reed Electronics Research:
The European PCB Market - An Overview to 2001. Printed Circuit Europe (1999) 7-8, p. 10-14
- 100 Reichmann, Th.; Pollaks, M.:
Make-or-Buy Entscheidungen – Was darf der Fremdbezug kosten, wenn die eigenen Kosten weiterlaufen? Controlling (1995) 1, S. 4-11
- 101 Reinhart, G.; Bauer, L.; Meier, H.; Wagner, P.; Weißenberger, M.:
Vernetzte Entwicklung komplexer mechatronischer Produkte. Zwf (1994) 4, S. 191-194
- 102 Reinhart, G.; Decker, F.; Heitmann, K.:
Möglichkeiten zur Integration der Simulation in das betriebliche Umfeld. MM 101; Würzburg (1995) S. 48-53
- 103 Reinhart, G.; Ansorge, D.; Mauderer, M.; Sabbah, A.:
Software-Engineering im Bereich der Produktionstechnik. Zwf (1998) 6, S. 282-285
- 104 Reinhart, G.:
Vom Wandel der Zeit – Wandel als Chance für unsere Unternehmen im globalen Wettbewerb. Zwf (1999) 1, S.14
- 105 Reiß, M.:
Personelle und organisatorische Grenzen der virtuellen Unternehmung. Zwf (1996) 6, S. 268-272
- 106 Riedmiller, S. C.:
Der Prozesskalender – Eine Methodik zur marktorientierten Entwicklung von Prozessen. Dissertation, Uni Karlsruhe, 1998
- 107 Rothfuß, W.:
Studie über neue Datenformate für Leiterplatten- und Baugruppenfertigung. Tagungsband 7. FED-Konferenz, Erfurth, 1999, S. 92-94
- 108 Rottbauer, H.:
PC-gestütztes Planungswerkzeug Make-or-Buy. Tagungsunterlagen zum Abschlusskolloquium ELPROMA, Erlangen, 2000
- 109 Sauer, W.; Weigert, G.; Hampel, D.: Optimization of Manufacturing Processes by Process Accompanied Simulation. In: Proc. of the European Conference on Integration in Manufacturing, Dresden, Germany, 1997, p. 335-342
- 110 Schäfer-Kunz, J.:
Perspektiven der simulationsgestützten Kostenrechnung. Krp-Kostenrechnungspraxis (1997) 5, S. 276-280

-
- 111 Scheer, A.-W.:
Architektur integrierter Informationssysteme, Grundlagen der
Unternehmensmodellierung. Springer, Berlin, 1992
- 112 Scherm, W.:
Outsourcing – Ein komplexes, mehrstufiges Entscheidungsproblem. Zeitschrift für
Planung (1996) 7, S. 45-60
- 113 Schmitz, W. J.:
Methodik zur strategischen Planung von Fertigungstechnologien. Dissertation, Shaker,
1996
- 114 Schneider, D.; Baur, C.; Hopfmann, L.:
Re-Design der Wertkette durch Make-or-Buy. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994
- 115 Schönheit, M.:
Prozesskostenorientiertes Bewertungssystem für die Produktionslogistik. In: VDI
Berichte Nr. 1229, 1995, S. 85-111
- 116 Schönheit, M.; Lackner, U.:
Prozesskennzahlen zur branchenübergreifenden Prozessbewertung. VDI-Z (1996) 9, S.
64-67
- 117 Schönheit, M.:
Wirtschaftliche Prozessgestaltung. Springer-Verlag, Berlin, 1996
- 118 Schönsleben, P.:
Integrales Logistikmanagement – Planung und Steuerung von umfassenden
Geschäftsprozessen. Springer, Berlin, 1998
- 119 Schuh, G.:
Strategisches Produktionsmanagement. In: Eversheim, W.; Schuh, G. [Hrsg.]:
Betriebshütte: Produktion und Management, Teil 1, Springer, Berlin, Heidelberg, 1996
- 120 Schweigert, U.:
Rationalisierung durch Produktionssegmentierung am Beispiel Elektronikfertigung. In:
Siegwart, H.; Müller, R. [Hrsg.]: Gezielt Kosten senken, Verlag Industrielle Organisation,
Zürich, 1995
- 121 Schweiter, G.:
Auf dem Weg zur intelligenten Maschine. io management (1999) 6, S. 102-106
- 122 Servatius, H.-G.:
Reengineering-Programme umsetzen. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1999
- 123 Shen, C. C.:
Discrete-Event Simulation on the Internet and the Web. Proceedings of the 1998
International Conference on Web-Based Modeling & Simulation, San Diego, 1998

- 124 Siebert, G.:
Prozess-Benchmarking – Methode zum branchenunabhängigen Vergleich von
Prozessen. Dissertation, IPK Berlin, 1998
- 125 Simioni, B.; Langenhoff, B.:
In einem Schritt. AV (1997) 6, S. 382-384
- 126 Singh, D. K.; Evans, R. P.:
Effective Benchmarking: Taking the Effective Approach. Industrial Engineering (1993)
2, p. 22-65
- 127 Spur, G.; Mertins, K.; Jochem, R.:
Integrierte Unternehmensmodellierung. Beuth Verlag, Berlin, 1993
- 128 Spur, G.:
Fabrikbetrieb. Hanser, München, 1994
- 129 Strugalla, R.:
Prozesskostensimulation. ZWF (1994) 12, S. 616-617
- 130 Syska, A.:
Lohnbestücker in Deutschland. SMT (1998) 5, S. 24-28
- 131 Syska, A.:
Auftragsfertiger und ihre Kunden. SMT (1998) 7, S. 25-29
- 132 Tellbüscher, E.:
Antriebstechnik für die Prozess- und Fabrikautomation, Vortrag Hannover Messe 1999
- 133 VDE Mikroelektronik-Studie 1999:
GMM VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Frankfurt,
1999
- 134 VDI-Richtlinie 3633:
Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Blatt 1-6, Düsseldorf,
1996
- 135 VDI-Richtlinie 3633:
Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Kostensimulation,
Blatt 7 Entwurf, Düsseldorf, 2000
- 136 Vossen, G.; Becker, J.:
Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Internat. Thomson
Publishing, Bonn, 1996
- 137 Walker, G.; Weber, D.:
A Transaction Cost Approach to Make or Buy Decisions. Administrative Science
Quarterly (1984), S. 373-391

-
- 138 Warnecke, H. J.; Sihn, W.; Wiendahl, H. H.:
Informationstechnologie unterstützt die verteilte Produktion. *Werkstattstechnik* (1998) 3,
S. 87-92
- 139 Weber, J.:
Kostenrechnungsdynamik – Einflüsse hoher unternehmensexterner und –interner
Veränderungen auf die Gestaltung der Kostenrechnung. *BFuB* (1995) 6, S. 565-581
- 140 Westkämper, E.; Tutsch, H.-J.:
Manufacturing in Networks – Competitive Advantages for Virtual Enterprises.
Proceedings of the Prolamat, Trento, 1998
- 141 Westkämper, E.:
Die Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. *Werkstattstechnik* (1999) 4, S. 131-140
- 142 Westkämper, E.:
Entwicklung und Optimierung der Strukturen in der industriellen Produktion. In: *VDI
Berichte Nr. 1500, 1999, S. 1-8*
- 143 Wiendahl, H.-P.:
Verteilte Produktion. In: *VDI Berichte Nr. 1299, 1996, S. 33-57*
- 144 Wiendahl, H.-P.; Kuhn, A.; Fastabend, H.; Helms, K.; Kloth, M.:
Kooperatives Management in wandelbaren Produktionsnetzen. *Industrie Management
(1996) 6, S. 23-28*
- 145 Wiendahl, H.-P.; Scheffczyk, H.:
Wandlungsfähige Fabrikstrukturen. *Werkstattstechnik* (1998) 4, S. 171-175
- 146 Wiendahl, H.-P.; Helms, K.; Höbig, M.:
Systemgestützte Fremdvergabe zur Engpassbeseitigung in Produktionsnetzen. *PPS
Management* (1998) 3, S. 40-44
- 147 Wiendahl, H.-P.; Nyhius, P.:
Engpassorientierte Logistikanalyse – Methoden zur kurzfristigen Leistungssteigerung in
Produktionsprozessen. *TCW-report, Transfer-Centrum, München, 1999*
- 148 Wiendahl, H.-P.; Helms, K.; Lutz, S.:
Supply Net – New Methods for Capacity Flexibilisation in Production Networks. In: *Proc.
of the 15th International Conference on Computer-Aided Production Engineering,
CAPE'99, University of Durham School, Durham, 1999, S. 609-614*
- 149 Wildemann, H.:
Fertigungsstrategien – Reorganisationskonzepte für eine schlanke Produktion und
Zulieferung. *TCW-Verlag, München, 1994*
- 150 Wildemann, H.:
Entwicklungsstrategien für Zulieferunternehmen. *TCW-Verlag, München, 1995*

- 151 Wildemann, H.:
Einkaufspotenzialanalyse – Programme zur partnerschaftlichen Erschliessung von Rationalisierungspotenzialen. TCW-Verlag, München, 1999
- 152 Wohrabe, H.:
Qualität differenziert verbinden – Aufgaben des Qualitätsmanagements in der Maschinenbau-Elektronikproduktion. QZ (1999) 9, S. 1094

Lebenslauf

Harald Rottbauer

geboren am 23.08.1966 in Regensburg

- 1972 - 1976 Grundschule Napoleonstein Regensburg
- 1976 - 1985 Albrecht-Altdorfer-Gymnasium Regensburg
- 1985 - 1986 Grundwehrdienst
- 1986 - 1991 Studium Maschinenbau, Fachrichtung Fertigungs-
und Betriebstechnik, an der Technischen Universität München
Abschluss: Dipl.-Ing. (Univ.)
- 1991 - 1992 Internship Program der Siemens AG in Princeton, Indiana (USA)
- 1992 - 1996 Studium Wirtschaftsingenieurwesen an der Technischen
Universität München
Abschluss: Dipl.-Wirtsch.Ing. (Univ.)
- 1996 - 2000 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik an der
Universität Erlangen-Nürnberg
Leiter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann
Abschluss: Dr.-Ing.
- seit 2000 Siemens AG, Procurement and Logistics Services SPLS,
Supply Chain Consulting,
Inhouse-Consultant für Einkaufs- und Logistikprojekte

Reihe Fertigungstechnik Erlangen

Band 1
Andreas Hemberger
**Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch
wissensbasierte Systeme**
208 Seiten, 107 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 2
Detlef Classe
**Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montage-
systeme durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte**
194 Seiten, 70 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 3
Friedrich-Wilhelm Nolting
Projektierung von Montagesystemen
201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989.
Kartoniert.

Band 4
Karsten Schlüter
**Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz
der Simulationstechnik**
177 Seiten, 97 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 5
Shir-Kuan Lin
Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern
168 Seiten, 46 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 6
Rudolf Nuss
**Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität im Fertigungssystem
Laserstrahlschneiden**
206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 7
Wolfgang Scholz
**Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter
Montageanlagen**
194 Seiten, 89 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 8
Hans-Jürgen Wißmeier
**Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens von Hartmetall-
Fließpreßmatrizen**
179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 9
Rainer Eisele
**Konzeption und Wirtschaftlichkeit von Planungssystemen in der
Produktion**
183 Seiten, 86 Bilder. 1990. Kartoniert.

- Band 10
Rolf Pfeiffer
Technologisch orientierte Montageplanung am Beispiel der Schraubtechnik
216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990. Kartoniert.
- Band 11
Herbert Fischer
Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung der rechnerintegrierten Teilefertigung
201 Seiten, 82 Bilder. 1990. Kartoniert.
- Band 12
Gerhard Kleineidam
CAD/CAP: Rechnergestützte Montagefeinplanung
203 Seiten, 107 Bilder. 1990. Kartoniert.
- Band 13
Frank Vollertsen
Pulvermetallurgische Verarbeitung eines übereutektoiden verschleißfesten Stahls
XIII + 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990. Kartoniert.
- Band 14
Stephan Biermann
Untersuchungen zur Anlagen- und Prozeßdiagnostik für das Schneiden mit CO₂-Hochleistungslasern
VIII + 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 15
Uwe Geißler
Material- und Datenfluß in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle
124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 16
Frank Oswald Hake
Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für automatisierte Montagezellen
XIV + 166 Seiten, 77 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 17
Herbert Reichel
Optimierung der Werkzeugbereitstellung durch rechnergestützte Arbeitsfolgenbestimmung
198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 18
Josef Scheller
Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen für rechnergeführte Montagezellen
198 Seiten, 65 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 19
Arnold vom Ende
Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrize
166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 20
Joachim Schmid
Beitrag zum automatisierten Bearbeiten von Keramikguß mit Industrierobotern
XIV + 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 21

Egon Sommer

Multiprozessorsteuerung für kooperierende Industrieroboter in Montagezellen

188 Seiten, 102 Bilder. 1991. Kartonierte.

Band 22

Georg Geyer

Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten in der Montage

192 Seiten, 112 Bilder. 1991. Kartonierte.

Band 23

Rainer Flohr

Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik in der Oberflächenmontage (SMT)

186 Seiten, 79 Bilder. 1991. Kartonierte.

Band 24

Alfons Rief

Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen in der Rohkarosseriefertigung

VI + 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 1991. Kartonierte.

Band 25

Christoph Thim

Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation

188 Seiten, 74 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 26

Roland Müller

CO₂-Laserstrahlschneiden von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen

141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tabellen. 1992. Kartonierte.

Band 27

Günther Schäfer

Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung

195 Seiten, 76 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 28

Martin Hoffmann

Entwicklung einer CAD/CAM-Prozesskette für die Herstellung von Blechbiegeteilen

149 Seiten, 89 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 29

Peter Hoffmann

Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen : Prozeßführung und Systemtechnik in der 3D-Laserstrahlbearbeitung von Blechformteilen

186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tabellen. 1992. Kartonierte.

Band 30

Olaf Schrödel

Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen

180 Seiten, 84 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 31

Hubert Reinisch

Planungs- und Steuerungswerkzeuge zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen

XI + 212 Seiten, 112 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 32
Brigitte Bärnreuther
**Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens
von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen**
XI + 179 Seiten, 71 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 33
Joachim Hutfless
**Laserstrahlregelung und Optikdiagnostik in der Strahlführung
einer CO₂-Hochleistungslaseranlage**
175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 34
Uwe Günzel
**Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative
und strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung**
XIV + 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 35
Bertram Ehmann
**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener
Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**
XV + 167 Seiten, 114 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 36
Harald Kolléra
**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems
für das Laserstrahlschneiden**
129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993. Kartoniert.

Band 37
Stephanie Abels
**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen
in einem integrierten Simulationssystem**
188 Seiten, 88 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 38
Robert Schmidt-Hebbel
**Laserstrahlbohren durchflußbestimmender
Durchgangslöcher**
145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 39
Norbert Lutz
**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe mit
XeCl-Excimerlaserstrahlung**
187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994. Kartoniert.

Band 40
Konrad Grampp
**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung an
Steuerungssoftware von SMD-Bestücklinien**
178 Seiten, 88 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 41
Martin Koch
**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung
in der Investitionsgüterindustrie**
169 Seiten, 68 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 42

Armin Gropp

Anlagen- und Prozedurdiagnostik beim Schneiden mit einem gepulsten Nd:YAG-Laser

160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 43

Werner Heckel

Optische 3D-Konturerfassung und on-line Biegewinkelmessung mit dem Lichtschnittverfahren

149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 44

Armin Rothhaupt

Modulares Planungssystem zur Optimierung der Elektronikfertigung

180 Seiten, 101 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 45

Bernd Zöllner

Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion

195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 46

Bodo Vormann

Beitrag zur automatisierten Handhabungsplanung komplexer Blechbiegeteile

126 Seiten, 89 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 47

Peter Schnepf

Zielkostenorientierte Montageplanung

144 Seiten, 75 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 48

Rainer Klotzbücher

Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung in flexiblen Fertigungssystemen

156 Seiten, 62 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 49

Wolfgang Greska

Wissensbasierte Analyse und Klassifizierung von Blechteilen

144 Seiten, 96 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 50

Jörg Franke

Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien für räumliche spritzgegossene Schaltungsträger (3-D MID)

196 Seiten, 86 Bilder, 4 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 51

Franz-Josef Zeller

Sensorplanung und schnelle Sensorregelung für Industrieroboter

190 Seiten, 102 Bilder, 9 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 52

Michael Solvie

Zeitbehandlung und Multimedia-Unterstützung in Feldkommunikationssystemen

200 Seiten, 87 Bilder, 35 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 53

Robert Hopperdietzel

Reengineering in der Elektro- und Elektronikindustrie

180 Seiten, 109 Bilder, 1 Tabelle. 1996. Kartoniert.

Band 54

Thomas Rebhan

**Beitrag zur Mikromaterialbearbeitung mit Excimerlasern –
Systemkomponenten und Verfahrensoptimierungen**

148 Seiten, 61 Bilder, 10 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 55

Henning Hanebuth

Laserstrahlhartlöten mit Zweistrahltechnik

157 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 56

Uwe Schönherr

**Steuerung und Sensordatenintegration für flexible Fertigungszellen
mit kooperierenden Robotern**

188 Seiten, 116 Bilder, 3 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 57

Stefan Holzer

Berührungslose Formgebung mit Laserstrahlung

162 Seiten, 69 Bilder, 11 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 58

Markus Schultze

Fertigungsqualität beim 3D-Laserstrahlschweißen von Blechformteilen

165 Seiten, 88 Bilder, 9 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 59

Thomas Krebs

**Integration elektromechanischer CA-Anwendungen über einem STEP-
Produktmodell**

198 Seiten, 58 Bilder, 8 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 60

Jürgen Sturm

**Prozeßintegrierte Qualitätssicherung
in der Elektronikproduktion**

167 Seiten, 112 Bilder, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 61

Andreas Brand

**Prozesse und Systeme zur Bestückung räumlicher
elektronischer Baugruppen (3-D MID)**

182 Seiten, 100 Bilder. 1997. Kartoniert

Band 62

Michael Kauf

**Regelung der Laserstrahlleistung und der Fokusparameter einer
CO₂-Hochleistungslaseranlage**

140 Seiten, 70 Bilder, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert

Band 63

Peter Steinwässer

**Modulares Informationsmanagement in der integrierten
Produkt- und Prozeßplanung**

190 Seiten, 87 Bilder. 1997. Kartoniert.

Band 64
Georg Liedl
**Integriertes Automatisierungskonzept für den flexiblen Materialfluß
in der Elektronikproduktion**
196 Seiten, 96 Bilder, 3 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 65
Andreas Otto
Transiente Prozesse beim Laserstrahlschweißen
132 Seiten, 62 Bilder, 1 Tabelle. 1997. Kartoniert

Band 66
Wolfgang Blöchl
**Erweiterte Informationsbereitstellung an offenen CNC-Steuerungen
zur Prozeß- und Programmoptimierung**
168 Seiten, 96 Bilder. 1997. Kartoniert.

Band 67
Klaus-Uwe Wolf
**Verbesserte Prozeßführung und Prozeßplanung zur Leistungs- und
Qualitätssteigerung beim Spulenwickeln.**
186 Seiten, 125 Bilder. 1997. Kartoniert.

Band 68
Frank Backes
Technologieorientierte Bahnplanung für die 3D-Laserstrahlbearbeitung
138 Seiten, 71 Bilder, 2 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 69
Jürgen Kraus
Laserstrahlumformen von Profilen
137 Seiten, 72 Bilder, 8 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 70
Norbert Neubauer
Adaptive Strahlführungen für CO₂-Lasieranlagen
120 Seiten, 50 Bilder, 3 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 71
Michael Steber
**Prozeßoptimierter Betrieb flexibler Schraubstationen
in der automatisierten Montage**
168 Seiten, 78 Bilder, 3 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 72
Pfeßtorf, Markus
Funktionale 3D-Oberflächenkenngößen in der Umformtechnik
162 Seiten, 84 Bilder, 15 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 73
Volker Franke
**Integrierte Planung und Konstruktion von Werkzeugen
für die Biegebearbeitung**
143 Seiten, 81 Bilder. 1998. Kartoniert.

Band 74
Herbert Scheller
**Automatisierte Demontagesysteme und recyclinggerechte
Produktgestaltung elektronischer Baugruppen**
184 Seiten, 104 Bilder, 17 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 75

Arthur Meßner

Kaltmassivumformung metallischer Kleinstteile

– Werkstoffverhalten, Wirkflächenreibung, Prozeßauslegung –
164 Seiten, 92 Bilder, 14 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 76

Mathias Glasmacher

Prozeß- und Systemtechnik zum Laserstrahl-Mikroschweißen

184 Seiten, 104 Bilder, 12 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 77

Michael Schwind

**Zerstörungsfreie Ermittlung mechanischer Eigenschaften von
Feinblechen mit dem Wirbelstromverfahren**

124 Seiten, 68 Bilder, 8 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 78

Manfred Gerhard

**Qualitätssteigerung in der Elektronikproduktion durch Optimierung
der Prozeßführung beim Löten komplexer Baugruppen**

179 Seiten, 113 Bilder, 7 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 79

Elke Rauh

**Methodische Einbindung der Simulation in die betrieblichen Planungs-
und Entscheidungsabläufe**

192 Seiten, 114 Bilder, 4 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 80

Niederkorn Sorin

**Meßeinrichtung zur Untersuchung der Wirkflächenreibung bei
umformtechnischen Prozessen**

99 Seiten, 46 Bilder, 6 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 81

Stefan Schuberth

**Regelung der Fokusslage beim Schweißen mit CO₂-Hochleistungslasern
unter Einsatz von adaptiven Optiken**

140 Seiten, 64 Bilder, 3 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 82

Armando Walter Colombo

**Development and Implementation of Hierarchical Control Structures
of Flexible Production System Using High-Level Petri Nets**

216 Seiten, 86 Bilder. 1998. Kartoniert.

Band 83

Otto Meedt

**Effizienzsteigerung bei Demontage und Recycling durch flexible
Demontagetechnologien und optimierte Produktgestaltung**

186 Seiten, 103 Bilder. 1998. Kartoniert.

Band 84

Knuth Götz

**Modelle und effiziente Modellbildung zur Qualitätssicherung
in der Elektronikproduktion**

212 Seiten, 129 Bilder, 24 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 85

Ralf Luchs

**Einsatzmöglichkeiten leitender Klebstoffe zur zuverlässigen Kontaktierung
elektronischer Bauelemente in der SMT**

176 Seiten, 126 Bilder, 30 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 86
Frank Pöhlau
Entscheidungsgrundlagen zur Einführung räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3–D MID)
144 Seiten, 99 Bilder, 1999. Kartoniert.

Band 87
Roland Kals
Fundamentals of the miniaturization of sheet metal working processes
128 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 88
Gerhard Luhn
Implizites Wissen und technisches Handeln am Beispiel der Elektronikproduktion.
253 Seiten, 61 Bilder, 1 Tabelle. 1999. Kartoniert.

Band 89
Axel Sprenger
Adaptives Streckbiegen von Aluminium–Strangpreßprofilen
114 Seiten, 63 Bilder, 4 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 90
Hans–Jörg Pucher
Untersuchungen zur Prozeßfolge Umformen, Bestücken und Laserstrahllöten von Mikrokontakten
158 Seiten, 69 Bilder, 9 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 91
Horst Arnet
Profilbiegen mit kinematischer Gestalterzeugung
128 Seiten, 67 Bilder, 7 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 92
Doris Schubart
Prozeßmodellierung und Technologieentwicklung beim Abtragen mit CO₂-Laserstrahlung
133 Seiten, 57 Bilder, 13 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 93
Adrianus L. P. Coremans
Laserstrahlsintern von Metallpulver – Prozeßmodellierung, Systemtechnik, Eigenschaften laserstrahlgesinterter Metallkörper
184 Seiten, 108 Bilder, 12 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 94
Hans-Martin Biehler
Optimierungskonzepte für Qualitätsdatenverarbeitung und Informationsbereitstellung in der Elektronikfertigung
199 Seiten, 105 Bilder. 1999. Kartoniert.

Band 95
Wolfgang Becker
Oberflächenausbildung und tribologische Eigenschaften Excimerlaserstrahlbearbeiteter Hochleistungskeramiken
175 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 96
Philipp Hein
Innenhochdruck-Umformen von Blechpaaren: Modellierung, Prozeßauslegung und Prozeßführung
129 Seiten, 57 Bilder, 7 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 97
Gunter Beitinger
**Herstellungs- und Prüfverfahren für
thermoplastische Schaltungsträger**
176 Seiten, 92 Bilder, 20 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 98
Jürgen Knoblach
**Beitrag zur rechnerunterstützten verursachungsgerechten Angebotskalkulation
von Blechteilen mit Hilfe wissensbasierter Methoden**
156 Seiten, 53 Bilder, 26 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 99
Frank Breitenbach
**Bildverarbeitungssystem zur Erfassung der Anschlußgeometrie
elektronischer SMT-Bauelemente**
168 Seiten, 92 Bilder, 12 Tabellen. 2000. Kartoniert.

Band 100
Bernd Falk
**Simulationsbasierte Lebensdauervorhersage für Werkzeuge
der Kaltmassivumformung**
134 Seiten, 44 Bilder, 15 Tabellen. 2000. Kartoniert.

Band 101
Wolfgang Schlögl
**Integriertes Simulationsdaten-Management für Maschinenentwicklung
und Anlagenplanung**
157 Seiten, 101 Bilder, 20 Tabellen. 2000. Kartoniert.

Band 102
Christian Hinsel
**Ermüdungsbruchversagen hartstoffbeschichteter
Werkzeugstähle in der Kaltmassivumformung**
130 Seiten, 80 Bilder, 14 Tabellen. 2000. Kartoniert.

Band 103
Bobbert
**Simulationsgestützte Prozessauslegung für das Innenhochdruck-Umformen
Von Blechpaaren**

Band 104
Harald Rottbauer
**Modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement
In der Elektronikproduktion**
176 Seiten, 106 Bilder. 2000. Kartoniert.