

Bertram Ehmann

*Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung
auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe
in der Elektronikfertigung*

Bertram Ehmann

*Operatives Fertigungscontrolling
durch Optimierung auftragsbezogener
Bearbeitungsabläufe in der
Elektronikfertigung*

Herausgegeben von

Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,

Lehrstuhl für

Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

FAPS



Carl Hanser Verlag München Wien

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

Tag der Einreichung:	18. Januar 1993
Tag der Promotion:	30. April 1993
Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. H. Mughrabi
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann Prof. Dr.-Ing. D. Seitzer

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Ehmann, Bertram:

Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung
auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe in der
Elektronikfertigung / von Bertram Ehmann. Hrsg. von
K. Feldmann. - München; Wien: Hanser, 1993
(Fertigungstechnik - Erlangen; 35)
Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1993
ISBN 3-446-17658-6

NE: GT

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.

© Carl Hanser Verlag München, Wien 1993

Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf

Printed in Germany

Vorwort

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen - Nürnberg.

Herrn Professor Dr.-Ing. K. Feldmann, Leiter des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, danke ich herzlich für die engagierte Förderung meiner Arbeit. Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. D. Seitzer, Leiter des Fraunhofer Instituts für integrierte Schaltungen und des Lehrstuhls für Technische Elektronik, für die Übernahme des Koreferats.

Herrn Professor Dr. rer. pol. H. Wedekind, Inhaber des Lehrstuhls für Informatik VI (Datenbanksysteme), danke ich für seine Bemühungen bei der Durchführung des Promotionsverfahrens.

Ferner gilt mein Dank allen Kollegen, Studenten und wissenschaftlichen Hilfskräften, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Für den hervorragenden Einsatz und die gute Zusammenarbeit möchte ich insbesondere Herrn Jürgen Maier, Herrn Volker Weiß, Herrn Dipl.-Ing. Martin Rabus, Herrn Dipl.-Ing. Norbert Bartl, Herrn Dipl.-Ing. Michael Geiß und Herrn Dipl.-Ing. Markus Kretschmer nennen. Einen besonders herzlichen Dank möchte ich meinen Kollegen Herrn Dipl.-Ing. Peter Schnepf, Herrn Dipl.-Ing. Georg Liedl und Herrn Dipl.-Ing. Stefan Krug für ihre unermüdliche Diskussionsbereitschaft und tatkräftige Unterstützung aussprechen.

Bertram Ehmann

Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung

- Inhaltsverzeichnis -

1. Einleitung	1
2. Situationsanalyse der Produktion elektronischer Baugruppen	5
2.1 Umfeldwandel in der Baugruppenproduktion	5
2.1.1 Veränderung der Marktforderungen	6
2.1.2 Entwicklungen bei den Produkten	7
2.1.3 Trends bei den Produktionstechnologien	7
2.2 Entwicklung und Charakterisierung der Elektronikfertigung	9
2.2.1 Auswirkungen der Automatisierung	11
2.2.2 Effekte der Flexibilität	19
2.3 Randbedingungen bei der Fertigungsoptimierung	21
2.3.1 Entwicklung der Rationalisierungspotentiale in der Fertigung	21
2.3.2 Angewandte Optimierungsmechanismen	22
2.3.3 Dynamisches und komplexes Entscheidungsfeld	23
2.3.4 Sektorale Leistungsmessung bei der Bestimmung der Ausgangssituation	26
2.3.5 Ableitung marktorientierter Anforderungen an die Fertigung	28
2.3.6 Die Bedeutung des Zeitfaktors bei der Fertigungsoptimierung	31
3. Strategie- und Methodikentwicklung für das Operative Fertigungscontrolling	33
3.1 Abgrenzung und Zielspektrum des Operativen Fertigungscontrolling	33
3.1.1 Operatives Fertigungscontrolling, Träger des Innovationsmanagements	34
3.1.2 Charakterisierung der Innovationsarten	36
3.1.3 Meßkriterien für Produktionsinnovationen	37

3.2	Prinzipablauf und Problemfelder beim Operativen Fertigungscontrolling	38
3.2.1	Prinzipablauf und Randbedingungen	38
3.2.2	Defizite der sektoralen Vorgehensweise	40
3.3	Neue, produktbezogene Strategie und Methodik für das Operative Fertigungscontrolling	44
3.3.1	Strategie der Optimierung produktbezogener Bearbeitungsabläufe	45
3.3.3	Auftragsbezogene Methodik des Operativen Fertigungscontrolling	54
3.3.4	Voraussetzungen für die Durchführbarkeit	59
4.	Synthese der Leistungselemente am Fertigungsauftrag	60
4.1	Repräsentation der Verbesserungspotentiale im auftragsbezogenen Bearbeitungsablauf	60
4.2	Zusammensetzung der Leistungselemente am Auftrag	63
4.2.1	Auftragsimmanente Leistungsmerkmale	64
4.2.2	Verknüpfung der Fertigungsleistung und der Merkmale am Auftrag	66
4.2.3	Anhaltspunkte für die Veränderbarkeit gemessener Leistungswerte	69
4.3	Theorie und Anforderungen auftragsbezogener Leistungszuweisung	70
4.3.1	Bestände, Durchlaufzeiten und Termintreue	70
4.3.2	Anlagenbewirtschaftung	74
4.3.3	Qualität, Ausschuß und Nacharbeit	79
4.3.4	Personalwirtschaft	82
4.3.5	Flächen- und Raumnutzung	84
4.4	Voraussetzungen für die Nutzbarkeit der theoretischen Grundlagen	87
5.	Quantifizierung der Bearbeitungsabläufe durch ein auftragsorientiertes Informationsmodell	88
5.1	Anforderungen an die datentechnische Modellierung	89
5.2	Einsetzbarkeit bestehender Informationsmodelle	91
5.2.1	Kennzahlenorientierte Modelle	91
5.2.2	Modelle mit Schwerpunkt auf der Aufbauorganisation	92
5.2.3	Unternehmensmodellierung mit CIM-OSA	93

5.3	Datenverfügbarkeit und -spezifikation	94
5.3.1	Klassifikation des Informationsbedarfs	94
5.3.2	Informationstechnische Randbedingungen aus der Rückmeldung und Zeitrechnung	96
5.3.3	Datenspezifikation für das Informationsmodell	101
5.4	Aufbau des auftragsbezogenen Informationsmodells	105
5.4.1	Darlegung der Grundstruktur	105
5.4.2	Erweiterung um die Ebene der Auftragszustände	106
5.4.3	Einzeldimensionen des auftragsbezogenen Informationsmodells	107
5.5	Integration des Informationsmodells in die EDV-Struktur der Fertigung	110
5.5.1	Schnittstellen des Informationsmodells zu CA-Komponenten	110
5.5.2	Anforderungen an die informationsliefernden Systeme	111
6.	Ausbau des Modells zum auftragsbezogenen Informationssystem	112
6.1	Dimensionen der Auswertung	112
6.2	Berechnung der Attributverläufe für einzelne Lose	114
6.2.1	Zeitbedarf des Loses	114
6.2.2	Die losbezogene Bestandsführung	115
6.2.3	Differenzierte Wertsteigerung im losbezogenen Bearbeitungsablauf	116
6.3	Zielgerichtete Datenverdichtung und statistische Auswertungen über Segmente des Produktspektrums und der Fertigung	121
6.3.1	Auswertesystematik des Datenbestands im Informationsmodell	122
6.3.2	Bildung und Auswahl der Losattribute	123
6.3.3	Zielgerichtete Definition der Auswerteebene	126
6.3.4	Statistische Auswertungen	129
6.4	Anwenderschnittstelle	132
6.4.1	Definition der Analyse durch den Anwender	132
6.4.2	Methoden der Ergebnisdarstellung	133
6.5	Diskussion des auftragsbezogenen Informationssystems	134

7. Exemplarische Realisierung und realer Anwendungsfall	135
7.1 Das auftragsbezogene Informations- und Analysesystem "FAZIT"	135
7.1.1 Informationsmodell mit Datenbanksystem "ORACLE"	136
7.1.2 Berechnungsebene	140
7.1.3 Anwenderschnittstelle des Informationssystems	140
7.2 Anwendung der auftragsbezogenen Systematik im industriellen Umfeld	142
7.2.1 Rahmenbedingungen der Untersuchung	142
7.2.2 Problemstellung und Schwerpunkt der Analyse	144
7.2.3 Visualisierung des IST-Zustands und Eingrenzung der Problembereiche	147
7.2.4 Ursache-Wirkungs-Ketten zu den lokalisierten Problembereichen	151
7.2.5 Produktionsinnovationen zur Optimierung der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe	154
8. Zusammenfassung und Ausblick	155
9. Literaturverzeichnis	157

Abkürzungen:

ASIC	Application Specific Integrated Circuit
BAB	Betriebsabrechnungsbogen
BKT	Betriebskalendertag
BM	Betriebsmittel
bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CIM	Computer Integrated Manufacturing
COB	Chip on Board
DB	Datenbank
ECAD	Electronic Computer Aided Design
FBG	Flachbaugruppe
i. a.	im allgemeinen
i.d.R.	in der Regel
K, Fix	Betriebsmittel Fixkostenanteil
K, Var	Betriebsmittel variabler Kostenanteil
Kst.	Kostenstelle
MDE	Maschinendatenerfassung
K _{MH}	Maschinenstundensatz
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RDBS	Relationales Datenbanksystem
SMD	Surface Mount Device
SMT	Surface Mount Technology
SQL	Structured Query Language
TAB	Tape Automated Bonding

1. Einleitung

Durch die - der klassischen Massenproduktion entstammende - funktionale Unternehmensgliederung überwiegt immer noch ein isoliertes, sektorales Denken. Die Technische Auftragsabwicklung im Unternehmen unterliegt daher einer historischen Entwicklung, die aus bereichsweise erkanntem Bedarf an Veränderung resultiert. Diese Optimierungen sind, entsprechend der Interessenslage der Verantwortungs-träger für die bereichsweise technische Leistung, primär auf die Funktion der Bereiche ausgerichtet und erst in zweiter Linie auf die Zielsetzungen im Gesamtablauf. Dadurch ergibt sich eine unkoordinierte Verschiebung des gesamtheitlichen Leistungsbilds der Technischen Auftragsabwicklung.

Ziel muß es daher sein, Verbesserungspotentiale und Einflußgrößen über die funktionale Gliederung hinweg gesichert zu erkennen, auszuschöpfen und damit die Umsetzung der strategischen Unternehmensziele, als Spiegelbild des Umfeldwandels, im Durchsetzungssystem zu beschleunigen. Die Anpassung an marktorientierte Anforderungen mit hoher Wechselrate ergibt sich durch eine Vielzahl inkrementaler Optimierungsschritte und erfordert einen kontinuierlichen Optimierungsprozeß [19, 68, 131, 132]. Dies setzt eine hohe Reaktionsfähigkeit und Transparenz des betrieblichen Geschehens sowie die direkte Vergleichbarkeit der Leistungen an den kundenorientierten Anforderungen des Unternehmensumfelds voraus. Das Bindeglied in der funktionalen Gliederung des Unternehmens und zum Kunden ist das Produkt.

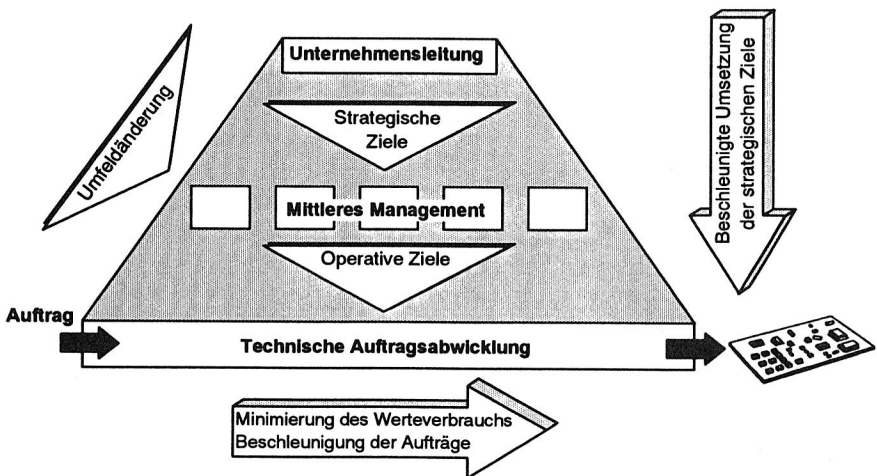


Bild 1.1: Bidirektionale Anforderungen unter dem Eindruck des Umfeldwandels

Das einzelne Produkt qualifiziert sich gegenüber dem Abnehmer, bei gegebener Funktionalität, durch die Eigenschaften "Zeitbedarf, Qualität und Kosten". Eine Bewertungsgrundlage bei der Suche nach Verbesserungspotentialen in der Technischen Auftragsabwicklung muß sich von diesen Attributen leiten lassen.

Die Komplexität im Unternehmen drückt sich durch die Vielfalt an Einflußgrößen unterschiedlichster Unternehmensfunktionen, die zu diesen Produktattributen führen, aus. Dies führt zu Querschnittsaufgaben, die sich über Abteilungsgrenzen hinweg auswirken und gegenseitig komplizierten Wechselbeziehungen unterworfen sind [116]. In der Fertigung, als einem der letzten Glieder in der Kette der Technischen Auftragsabwicklung und dem Ort der primären Leistungserbringung und Kostenverursachung am Produkt, werden die Auswirkungen aller betrieblichen Funktionsbereiche sichtbar. Hier ist der wesentliche Ausgangspunkt für die Detektion von Schwachstellen und für die Rückführung der Verantwortung in verursachende Unternehmensbereiche.

Dies mündet in einer zentralen Regelkreisfunktion auf operativer Ebene. Dieses **Operative Fertigungscontrolling** muß kontinuierlich Differenzen zwischen dem IST-Zustand in der Fertigung und den Zielen erkennen, Schwachstellen lokalisieren, originäre Ursachen über Abteilungsgrenzen hinweg gesichert ermitteln und entsprechende Maßnahmenvorschläge entwickeln.

Durch eine Reihe von industriellen Kooperationen mit der Elektronikbranche wurden diese Thesen bestätigt. Das in den Fertigungen angewandte Verfahren der bereichs- und betriebsmittelbezogenen Leistungsmessung hat sich für die Eingrenzung von Problembereichen und insbesondere für die Ursachenermittlung, angesichts der durch den Umfeldwandel geprägten Entwicklungen, als nicht mehr zielführend erwiesen. In Verbindung mit der hohen Variantenvielfalt sowie mit der komplexen, technologieintensiven Produkt- und Fertigungsstruktur ergibt sich als Hauptursache die fehlende Verknüpfbarkeit gemessener Leistungswerte mit einzelnen Varianten.

Diese Problematik wird in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen, mit dem Ziel, das Operative Fertigungscontrolling durch eine auf den Fertigungslosen basierende, detaillierte Messung des Werteverbrauchs im Bearbeitungsablauf effizienter zu gestalten. Am Beispiel der Produktion elektronischer Baugruppen werden dazu konkrete Lösungen erarbeitet.

In Kapitel 2 und 3 werden, ausgehend von einer Situationsanalyse der Elektronikfertigung, die Randbedingungen für kontinuierliche Innovationsprozesse erarbeitet und die Anforderungen mit der heutigen Form des Operativen Fertigungscontrolling zur

Ermittlung der Defizite gegenübergestellt. Unter Berücksichtigung dieser Handlungsziele wird eine innovative, produktbezogene Strategie und eine auftragsbezogene Methodik für diese Unternehmensfunktion aufgestellt. Der vierte Abschnitt enthält die theoretischen Grundlagen zur produktbezogenen Leistungsmessung im Fertigungsbereich. Darauf aufbauend wird im 5. und 6. Kapitel die Datenspezifikation und die Konzeption eines losbezogenen Informationssystem vorgenommen. Die exemplarische Realisierung und die Anwendung der Systematik im realen Anwendungsfall ist im letzten Abschnitt dargelegt.

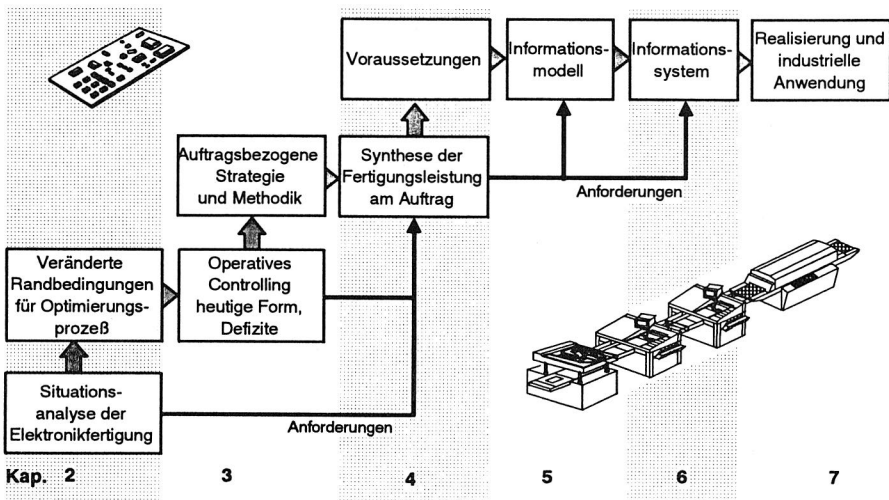


Bild 1.2: Struktur der vorliegenden Arbeit

Auf dieser Grundlage sollen gleichzeitig Handlungsempfehlungen für die praktische Controllingarbeit zur ganzheitlichen Optimierung der Fertigung - respektive der produktbezogenen Bearbeitungsabläufe - gegeben werden. In diesem Sinn verfolgt die vorliegende Arbeit ein pragmatisches Wissenschaftsziel.

Leitlinien

- Das heutige, stark von empirischem Erfahrungswissen geprägte, bereichsbezogene Vorgehen bei der Ermittlung von Problemfeldern und Lösungswegen in der Fertigung ist durch eine Hinwendung zu analytischer, kontrollierter Systematik zu verbessern. Die die Fertigungsleistung bestimmenden Stellglieder müssen zielgerichteter - im Sinne optimaler, abteilungsüberspannender Bearbeitungsabläufe der Produkte - modifiziert werden.

Dies ist insbesondere notwendig durch:

- eine zunehmende Ausschöpfung variantenneutraler und damit relativ leicht zugänglicher Verbesserungspotentiale
 - die stark zunehmende Produkt- und Prozeßkomplexität
 - die vermehrten interprozessualen Korrelationen im Bearbeitungsablauf
 - kürzere Produktlebenszyklen in der Fertigung
 - erhöhte Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Funktionsbereichen
 - eine hohe Zielvielfalt und -konkurrenzen bei der heute vorherrschenden, stark bereichsbezogenen Optimierungsplanung
- Die Aufgaben in der Technischen Auftragsabwicklung zielen - bezogen auf die Fertigung - auf eine zeit-, qualitäts- und kostenoptimale Herstellung der Produkte. In umgekehrter Form wird daraus abgeleitet, daß die Untersuchung des produktbezogenen Bearbeitungsablaufs auf Abweichungen vom Optimum eine Bewertung der Arbeitsqualität aller Einflußbereiche, wie Planung, Produktionssteuerung und Fertigung, zuläßt.
 - Die Unternehmen müssen mit den produktbezogenen Leistungswerten am Markt bestehen. Marktseitige Anforderungen hinsichtlich "Zeit, Qualität und Kosten" richten sich an das Produkt. Die Bewertung und die Optimierung der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe im Fertigungsbereich muß daher im Vordergrund stehen. Die Verbesserung der Arbeitsqualität in den Einflußbereichen Planung/Produktionssteuerung/Fertigung ist daher an den Auswirkungen auf die Bearbeitungsabläufe der Fertigungsaufträge zu orientieren. Damit ist ein direkter Vergleich von Leistung (IST) und Anforderung (SOLL) gegeben.

Geprägt durch eine äußerst dynamische Produkt- und Marktentwicklung unterliegt die Elektronikbranche hohen Innovationsraten, großem Entwicklungsbedarf und risi-

koreichem Anlageninvestment. Diesbezüglich wirken vielfältige Einflüsse, die aus dem Marktgeschehen, den Produkttrends und der Technologieentwicklung resultieren. Drastische Veränderungen am Markt als Folge starken Wettbewerbs erzwingen Innovationen auf dem Produktsektor, die ihrerseits neue Produktionstechnologien erfordern.

2.1.1 Veränderung der Marktforderungen

Elektronische Baugruppen stellen, begünstigt durch Anonymität, Hochwertigkeit und geringe Größe, für die Globalisierung des Marktes und der Produktion ein sehr geeignetes Feld dar [18, 29, 98]. Zu den Wettbewerbsinstrumenten zählen in besonderem Maß die Lieferfähigkeit und die Reaktionsfähigkeit auf neue Markt- und Produktentwicklungen. Diese Marktforderungen nach geringen Kosten, gesicherter Qualität, Reaktionsfähigkeit und Schnelligkeit bei der Lieferung sind unter zunehmend erschwerten Randbedingungen zu erfüllen.

Die Baugruppenfertigung ist in der Zulieferkette in den meisten Fällen das erste auftragsbezogen fertigende Glied. Die Bauelementeherstellung ist bis auf die Fertigung anwendungsspezifischer, integrierter Schaltungen (ASICs) kundenneutral [102].

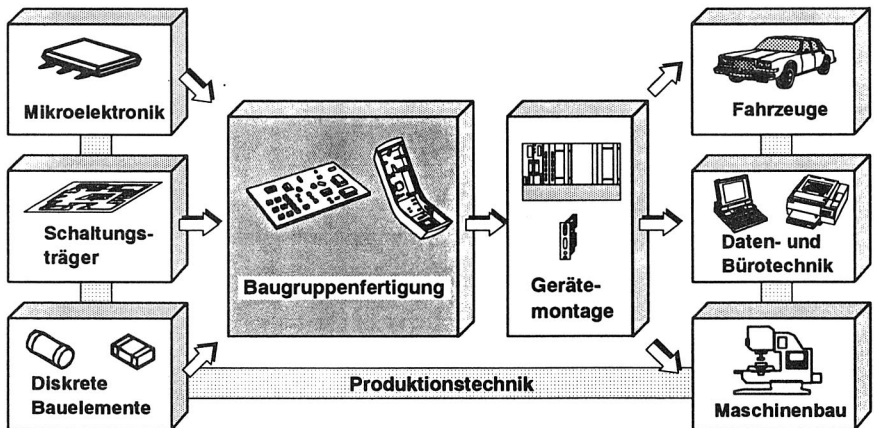


Bild 2.2: Die Baugruppenfertigung in der Funktionsbestimmungs- und Zulieferkette

Endgerätehersteller sehen sich steigender Planungsunsicherheit und starkem Zwang nach Kostenreduktion ausgesetzt. Sie binden die Zulieferer stärker in ihre Logistikkonzepte ein. Dies führt zu enger Anbindung über Just-In-Time Zulieferung, wobei die Qualitätsprüfung zunehmend zum Baugruppenproduzenten hin verlagert wird [29]. Zeit-, Informationsverluste und Sicherheitszuschläge durch die Schnittstel-

len in der Zulieferkette führen zu zusätzlich verschärften Randbedingungen für die Baugruppenfertigung.

Die Hersteller können Preissteigerungen nur bedingt durchsetzen, in vielen Anwendungsgebieten (z. B. Computer-, Steuerungs- und Konsumelektronik) ist sogar ein Preisrückgang zu verzeichnen.

Die Bestellzyklen verkürzen sich infolge kundenorientierter Produktion und verringerter Lagerhaltung der Abnehmer. Die Auftragsgrößen sinken im Rahmen verkürzter Bestellzyklen und einer steigenden Variantenzahl [78]. In der innovativen Branche Elektronik ist die Zeitspanne von der Produktentwicklung zur Produkteinführung "Time to market" entscheidend für die erreichbaren Marktanteile und den erzielbaren Gewinn. In den Vordergrund tritt damit, ausdrückbar durch verkürzte Liefer- und Vorlaufzeiten, der Zeitfaktor.

2.1.2 Entwicklungen bei den Produkten

Als Folge der äußerst hohen Innovationsraten in der Mikroelektronik ist die Entwicklung elektronischer Baugruppen durch eine überproportional zunehmende Funktionsintegration und Miniaturisierung gekennzeichnet [7, 103]. In Verbindung mit einem verschärften Wettbewerb ergeben sich kürzere Produktlebenszyklen und in schneller Folge Generationssprünge. Die Komplexitätssteigerung der Produkte führt zu aufwendigeren Entwicklungsaufgaben und stellt gesteigerte Anforderungen an die Prozesse. Verschärfend kommt hinzu, daß sich durch schnellere Produktzyklen Amortisations- und Gewinnzeiten verkürzen [21, 103].

Die Forderung nach immer kleineren, gewichtssparenden und kostengünstiger zu fertigenden elektronischen Geräten ist Anstoß sowohl für die Entwicklung neuer Bau- und Packungsformen elektronischer Bauteile, als auch für neue Schaltungs-trägerkonzepte. Verbesserte Leistungsmerkmale der Baugruppen, wie Größe und Funktionalität, erfordern die Abkehr von anwendungsneutralen Standardbaugruppen hin zu kundenorientierten Einzellösungen. Die damit gegebene Variantenvielfalt wird zusätzlich erhöht durch

- eine starke Zunahme der Funktionalität in bisherigen Anwendungsbereichen
- und die gesteigerte Verbreitung der Elektronik in neuen Einsatzfeldern.

2.1.3 Trends bei den Produktionstechnologien

Bei den Prozeßtechnologien ist, eng verknüpft mit den Entwicklungen im Produktbereich, eine hohe Veränderungsrate zu verzeichnen. Die damit verbundene Komplexitätssteigerung setzt neue Maßstäbe und Anforderungen für das Einsatzumfeld der Prozesse. Die Investitionsvolumina für neue Technologien nehmen dementspre-

chend zu. Veranschaulicht wird dies durch den in weiten Bereichen vollzogenen Umbruch von der bedrahteten Technologie zur Oberflächenmontage (SMT). Die schnelle Verringerung des Rastermaßes, beispielsweise bei den Einsatz von Fine-Pitch Bauelementen, ist ein Beispiel für die Weiterentwicklung der SMT [20].

Infolge gestiegener Miniaturisierungsbestrebungen bei elektronischen Systemen und Baugruppen werden die bisherigen Abgrenzungen zwischen den Produktionstechnologien der Halbleiterfertigung, Baugruppenproduktion und Gerätemontage zunehmend fließend. Beispiele dafür sind die Direktmontage ungehäuseter integrierter Schaltungen, innovative Strukturierungstechniken¹ und die Integration von Bauelementen über lithographische Prozesse² sowie die Montage der Bauelemente direkt in das Gehäuse des Endprodukts³ [33].

Die zu beherrschende Technologiebasis in der Baugruppenfertigung erweitert sich damit enorm. Die Techniken aus dem Bereich der siliziumbasierten Technologie sind zwar bekannt, beinhalten aber für die Elektronikfertigung neue, hohe technologische Anforderungen an die prozeßtechnischen Verfahrensketten und die klimatisch kontrollierte Produktionsumgebung.

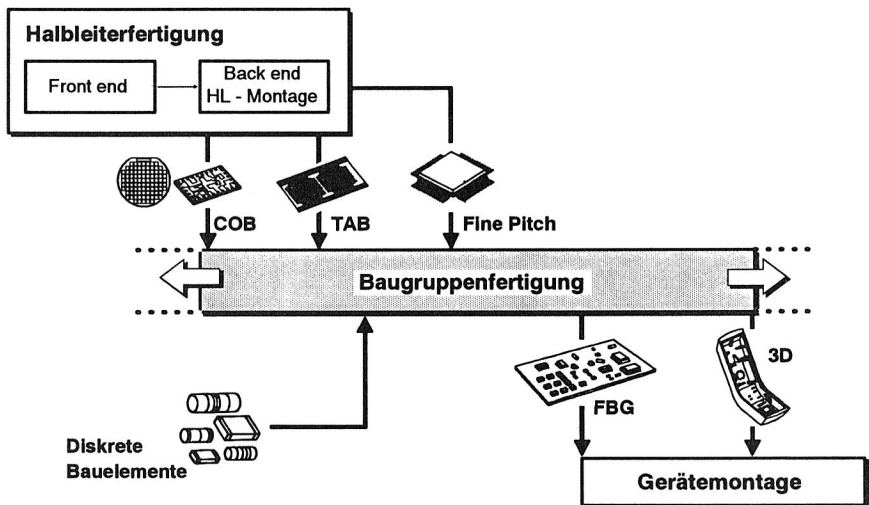


Bild 2.3: Zunehmende Auflösung bisheriger technologischer Grenzen zu den Nachbardisziplinen der Baugruppenfertigung

¹ z. B. Dünnschichttechnik

² z. B. Hybride, Waferscale

³ z. B. 3-dimensionale Bestückung

Die Komplexität der Baugruppen und die damit verbundene hohe Anzahl an Bearbeitungsschritten ergeben eine extreme kombinatorische Vielfalt möglicher Fehlerinflüsse. Dies erfordert die Realisierung höchster Qualitätsziele in einzelnen Prozessen [31]. Elektronische Halbfabrikate in enger tolerierten Qualitätsmaßen, verbunden mit der Steigerung technologischer Leistungsfähigkeit der Prozesse, erfordern die optimale Abstimmung von Werkstoffen, Baugruppe, Prozeß und Maschine. Die Zunahme der Wechselbeziehungen findet sich dabei nicht mehr nur bei singulären Verfahrensschritten, sondern erhält verstärkt interprozessualen Charakter [19].

Beispielsweise gewinnen im Zuge der fortschreitenden Miniaturisierung elektronischer Baugruppen und Komponenten die Oberflächeneigenschaften der verwendeten Werkstoffe zunehmend an Bedeutung. Um in der Mikroverbindungstechnik stets eine optimale Prozeßsicherheit zu gewährleisten, muß ein definierter und charakterisierbarer Ausgangszustand der Halbfabrikate und Werkstoffe sichergestellt werden. Reinraumtechniken, abgestimmte Strategien in der Produktionslogistik, reproduzierbare und automatisierte Prozesse mit geeigneten Handhabungslösungen sind hier erforderlich.

Bezogen auf die Produktionstechnik haben marktgetriebene Anforderungen daher einen hohen Stellenwert eingenommen. Sie betreffen, neben den klassischen Faktoren Kosten und Qualität, in stark zunehmendem Maß Zeitelemente, denen auch bei gleichbleibendem Produktspektrum mit erneuerter Produktionstechnik begegnet werden muß [124].

2.2 Entwicklung und Charakterisierung der Elektronikfertigung

War die frühe Fertigung elektronischer Baugruppen noch durch eine manuelle, von angelernten Arbeitern ausführbare Montage der freien Verdrahtung geprägt, so wurden mit Zunahme der Anschlüsse vorkonfektionierte Kabelbäume in bereits hohen Stückzahlen montiert.

Die Einführung der Leiterplatte führte zur Massenfertigung. Eine zu Beginn manuelle Bestückung und Verlötlung wurde von relativ starren Automatisierungslösungen in weiten Bereichen verdrängt. Die Einführung der Oberflächenmontage (SMT) ersetzt Handarbeitsplätze in hohem Ausmaß. Sie bietet Vorteile bei der Automatisierung durch vereinfachte Bauelementeverarbeitung und unterstützt daher bei der Bewältigung des Variantenreichtums [28, 30].

Zunehmende Miniaturisierung und Funktionsintegration führen zur direkten Montage ungehäuseter Halbleiterbauelemente. Der Einsatz dreidimensionaler Schaltungsträger erfordert neu zu definierende Prozesse und kann als neue Technologiegeneration angesehen werden.

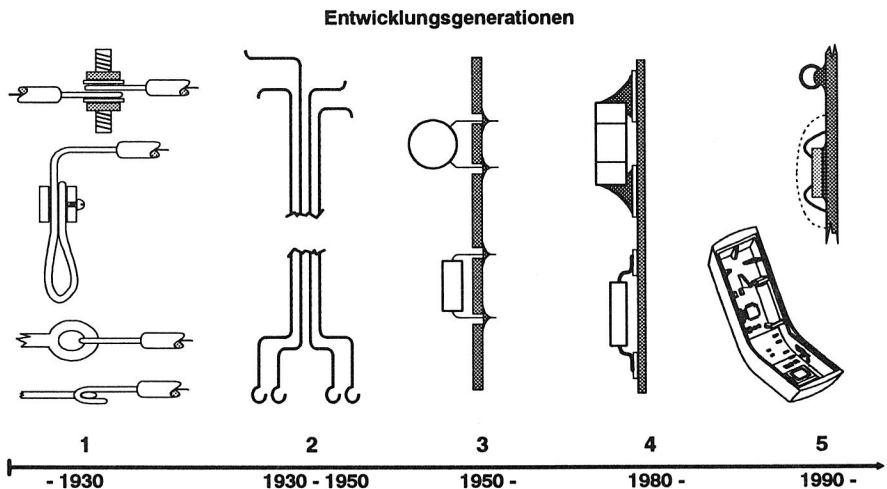


Bild 2.4: Die technologische Evolution in der Elektronik

Die heutige Technologieentwicklung erfordert vermehrt eine hochgradige Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der einzelnen Bearbeitungsschritte, wie sie durch manuelle Montage kaum zu erzielen ist. War die Elektronikproduktion bislang stark durch eine Massenherstellung geprägt, so ist mit der rasanten Entwicklung der Mikroelektronik und den damit verbundenen Möglichkeiten hinsichtlich Funktionalität und Baugruppenminiaturisierung eine zunehmende Funktionsspezialisierung aufgetreten [7]. Dies führt zu größerer Variantenvielfalt mit der Tendenz zu Mittel- und Kleinserien. Diese Eigenschaften erfordern verstärkt Automatisierungslösungen zur Realisierung der Prozeßanforderungen bei größtmöglicher Flexibilität [15, 24].

Aus technischer Sicht tragen nachfolgende Punkte wesentlich zum erhöhten Grad flexibler Automatisierung bei:

- gestiegene qualitative Anforderungen an die Prozesse, infolge Miniaturisierung und Steigerung der Produktkomplexität
- erhöhtes Produktionsvolumen und stark gesteigener Bauelementeverbrauch
- Variantenvielfalt und kleiner Auftragsgröße
- Verfügbarkeit automatisierungsfreundlicher Bestückungstechnologien und entsprechender Bauelemente

Diese von Produktinnovationen getriebenen, neuen Fertigungstechnologien mit einem notwendig hohen Automatisierungsgrad haben in Kombination mit gestie-

genen Flexibilitätsanforderungen erhebliche Auswirkungen auf die gesamte Produktion. Unter dem Aspekt einer weiterhin dynamisch fortschreitenden Entwicklung [103] und ihrem Grundlagencharakter bei der Charakterisierung von Rationalisierungspotentialen werden sie im folgenden näher untersucht.

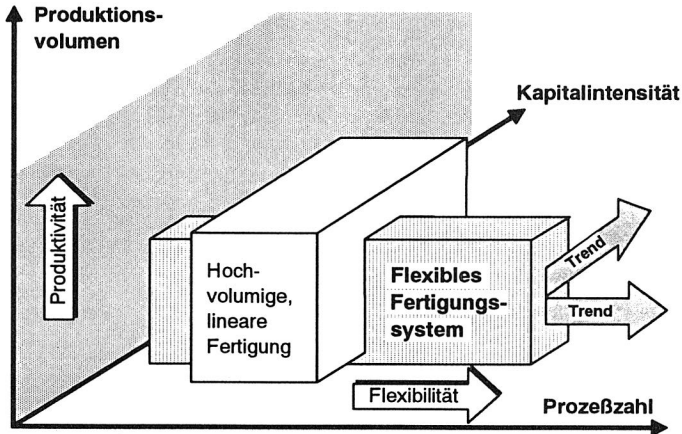


Bild 2.5: Entwicklung der Fertigungsstrukturen in der Elektronik

2.2.1 Auswirkungen der Automatisierung

Mit Hilfe der Mikroelektronik flexibel automatisierte Fertigungssysteme sind in der Lage, den Zielkonflikt Produktivität versus Flexibilität zu entschärfen. Die Produktivität ist analog zur Bearbeitungsqualität mit dem Rückgang manueller Arbeitsoperationen gleichförmiger und damit planbarer. In Folge dessen sind kürzere Durchlaufzeiten und damit eine Verringerung der Kapitalbindung durch Umlaufbestand erzielbar [104]. Nachteilig steht eine hohe Kapitalbindung durch Anlagevermögen und damit der Zwang zu hoher Betriebsmittelauslastung entgegen. Die Fertigungssysteme weisen einen hohen Komplexitätsgrad auf, der die Anforderungen an die Personalqualifikation und den Steuerungsaufwand erhöht. Gleichzeitig begibt sich die Fertigung in eine Abhängigkeit von der Zuverlässigkeit komplexer Systeme [25].

Neue Produktionstechnologien in Form hochautomatisierter Anlagen und Verketzungssysteme verursachen einen gravierenden Strukturwandel in der Fertigung. Zum einen wird dem verbleibenden Fertigungspersonal ein veränderter Aufgabenbereich mit eher indirekten Tätigkeiten zugewiesen, zum anderen verschiebt sich die Verantwortung für die Fertigungsleistung in starkem Maß in vorgelagerte Funktionsbereiche, wie Planung und Produktionssteuerung.

Im folgenden wird die Fragestellung untersucht, wie sich bei stark automatisierten Fertigungen die Verantwortlichkeit, für die am einzelnen Auftrag wesentlichen Attribute "Zeit, Qualität und Kosten", darstellt.

Verschiebung der Verantwortung für den Zeitbedarf

Nach eigenen, empirischen Untersuchungen der Durchlaufzeiten in der Elektronikproduktion zeigt sich, daß die der Fertigung vorgelagerten Unternehmensfunktionen, aufgrund des Rückgangs an Wiederholaufträgen und infolge zunehmender Produktkomplexität, den größten Anteil der Gesamtdurchlaufzeit in Anspruch nehmen.

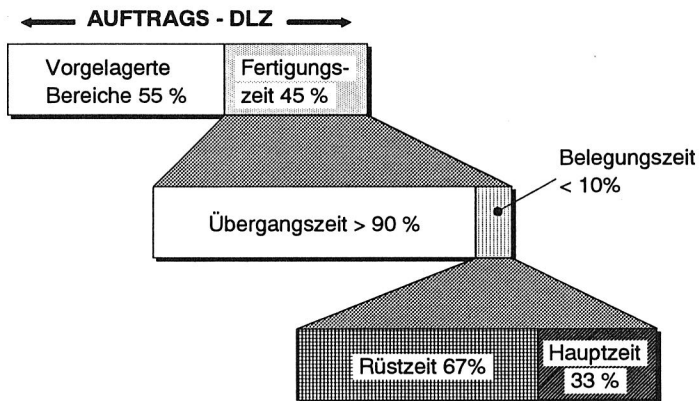


Bild 2.6: Durchlaufzeitaufteilung bei variantenreichen und stark automatisierten Elektronikfertigungen

Im Fertigungsbereich ergibt sich, daß die Belegungsdauer nur 5-10 % der Fertigungszeit in Anspruch nimmt. Die Übergangszeit, als Summe aller Zeitanteile zwischen den Bearbeitungsschritten ist mit 90-95 % höher als in vielen konventionellen Industriebereichen. Diese Ausprägung erklärt sich durch die Variantenvielfalt, die hohe Produktkomplexität und der damit verbundenen großen Anzahl an Bearbeitungsschritten. Die Verbreiterung des Produktspektrums hat einen hohen Rüstzeitanteil an der Bearbeitungszeit zur Folge. Die eigentliche Hauptzeit nimmt damit einen nur noch sehr geringen Anteil an der Fertigungsdurchlaufzeit ein und beträgt in gemessenen Extremfällen im Fertigungsdurchschnitt nur noch 1-2 %.

Die Mengenleistung automatisierter Fertigungssysteme ist durch die in der Systemkonzeption festgelegten Produktivität weitgehend vorgegeben. Im Betrieb wird die maximal mögliche Ausbringung durch technisch und organisatorisch bedingte Unterbrechungen sowie durch Rüstaufwand vermindert. Das Fertigungspersonal hat

dabei in erster Linie die Aufgabe, die technische und bedingt die organisatorische Verfügbarkeit des Fertigungssystems zu gewährleisten. Damit ist eine lokale Mengenleistungsregelung, im Gegensatz zur Methode der Arbeitskraftverschiebung bei gering automatisierten Fertigungen, nicht mehr gegeben. Die Übergangszeit der Fertigungsaufträge ist damit nahezu ausschließlich eine Funktion der Auftragseinschätzung, der Anzahl der Fertigungsaufträge, der Prozeßzahl und der Länge der Prozeßketten. Diese Parameter sind Ergebnis der Arbeitsqualität in der Produktentwicklung, der Arbeitsplanung sowie der Produktionsplanung und -steuerung.

Die, im Verlauf der Bearbeitung eines Fertigungsauftrags anfallende, Rüstzeit wird in erster Linie von der Anzahl der erforderlichen Rüstvorgänge bestimmt. Sie ist das Ergebnis von Reihenfolgeplanungen im Fertigungsvorfeld, der Produktgestaltung und der Arbeitsplanung. Die Hauptzeit bestimmt sich aus der Bearbeitungskomplexität und der Bearbeitungsgeschwindigkeit. Ersteres wird durch die Produktgestaltung und die Arbeitsplanung definiert.

Durch Maßnahmen direkt in der Fertigung zu beeinflussende Zeitanteile liegen daher primär nur noch in der Beschleunigung der Rüstvorgänge und der Prozesse. Diese Einflußmöglichkeit ist in ihren Auswirkungen, bezogen auf den Bearbeitungsablauf der Aufträge, gering.

Verschiebung der Qualitätsbeeinflussung

Die Qualitätsproblematik in der Elektronik ergibt sich aus den Produktanforderungen an die Bearbeitung und aus der Prozeßsicherheit der Fertigungssysteme. Beim Übergang zu automatisierten Fertigungssystemen werden höhere Anforderungen an den definierten Ausgangszustand der Halbfabrikate für die Prozesse gestellt [19]. Dies erfordert einerseits enger tolerierte Qualitätsmaßstäbe in der Prozeßkette und andererseits eine geeignete Fertigungslogistik. Beispielsweise ist bei der Oxidationsproblematik eine berechenbare Zeitkomponente im Bereich der Verbindungstechnik bedeutsam.

Bei gleichbleibendem Ausgangszustand der Halbzeuge ist automatisierten Anlagen eine weitgehend gleichförmige Prozeßsicherheit durch die Systemkonzeption vorgegeben. Im Gegensatz zur eher manuellen Fertigung mit personalabhängig schwankender Prozeßreproduzierbarkeit kann die Bearbeitungsqualität fertigungspersonalbedingt hier nur indirekt über die Sicherstellung technischer Leistungsfähigkeit der Anlagen beeinflußt werden [104].

Die Qualitätsverantwortung wird somit verstärkt in das Fertigungsvorfeld verlagert. Baugruppenentwicklung und Arbeitsplanung sind für die Anforderungen an die Bearbeitungsqualität und deren Realisierung in hohem Maß verantwortlich, während die Fertigungssteuerung am definierten Ausgangszustand der Baugruppen beteiligt ist.

Veränderung der Kostenverantwortung

Bei den Veränderungen in der Kostenstruktur der Fertigungsabteilungen lassen sich vier Entwicklungstendenzen erkennen, die in erster Linie auf eine verstärkte Automatisierung zurückzuführen sind [25].

- Der Anteil der Fixkosten an den Gesamtkosten steigt an. Die Kosten sind damit durch die Mitarbeiter der Fertigung weniger beeinflussbar.
- Der überwiegende Teil hat Gemeinkostencharakter und verringert damit die Kostentransparenz.
- Die Relationen der Kostenarten zueinander verändern sich. Die Lohnkosten beispielsweise, eine traditionell im Vordergrund stehende Kostenart, verlieren stark an Bedeutung, während die Kapitalkosten an Gewicht zunehmen.
- Die für einen Auftrag anfallenden Aufwendungen werden weitgehend im Fertigungsvorfeld determiniert und sind zu Beginn des eigentlichen Fertigungsprozesses in hohem Maß festgelegt.

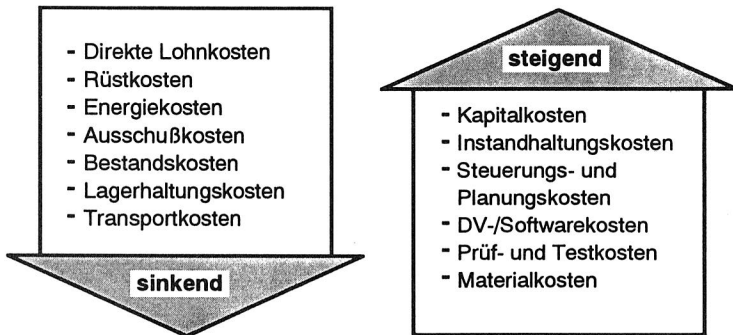


Bild 2.7: Kostenveränderungen durch neue Technologien in der Elektronik [25, 88]

Die Produkttechnologie in der Elektronik erfordert flexibel automatisierte Fertigungssysteme mit einem extrem hohen Investitionsbedarf. Die damit verbundene Kapitalbindung in Verbindung mit der Abnahme an direkten Lohnkosten führt dazu, daß sich die fixen Aufwendungen an den Fertigungskosten stark erhöhen.

Die Einführung automatisierter Fertigungssysteme entkoppelt den Menschen vom eigentlichen Arbeitsprozeß. Der Mitarbeiter übernimmt nun vielfach Tätigkeiten der Planung und Steuerung, Systembedienung und -überwachung, Störungsbehebung und Instandhaltung sowie allgemeine Handhabungsfunktionen. Er ist demzufolge in geringerem Umfang direkt am Produktaufbau beteiligt und trägt damit zusätzlich zur Erhöhung der Fixkostenbelastung bei [47].

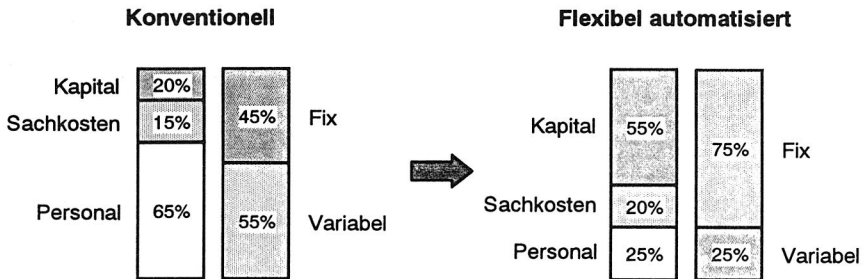


Bild 2.8: Kostenstrukturverschiebung durch Automatisierung in der Elektronik [104]

Die Entwicklung der Produkttechnologie in der Elektronik, hier am Beispiel der Nachrichtentechnik, zeigt neben den Auswirkungen neuer Fertigungstechnologien eine relativ starke Zunahme der Materialkosten. Dies ist in der Hauptsache auf eine verminderte Fertigungstiefe zurückzuführen. Hochkomplexe, integrierte Schaltungen vereinen in sich wesentliche Teile der Baugruppenfunktionalität, stellen einen dementsprechenden Kostenfaktor dar und können im Elektronikbereich nicht gefertigt werden. Ähnliches gilt für komplexe Schaltungsträger oder Subkomponenten spezieller Technologie [104].

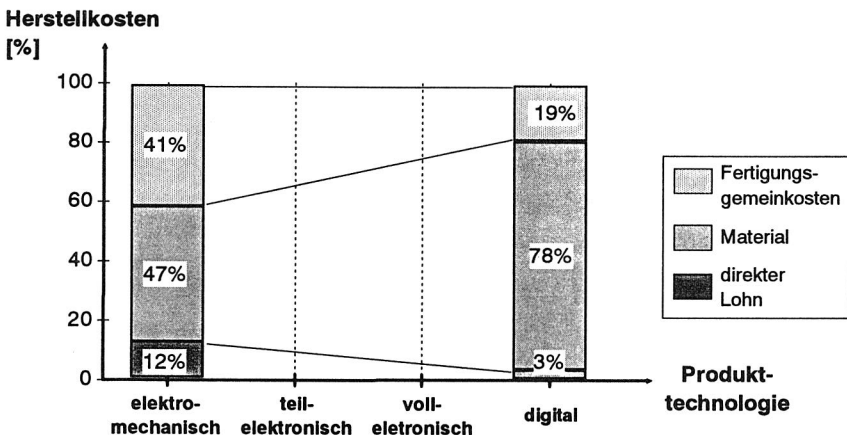


Bild 2.9: Entwicklung der Herstellkosten in der Elektronik am Beispiel eines Produkts der Nachrichtentechnik [104]

Derart hohe Materialwertanteile lassen darauf schließen, daß sich hier große Verbesserungspotentiale verbergen. Gelingt es hier Mehrverbräuche, beispielsweise durch verringerten Ausschuß, zu senken, sind Produktivitätssteigerungen möglich,

die Größenordnungen der direkten Lohnkosten erreichen. Hohe Materialkosten haben gravierenden Einfluß auf die Kapitalbindung durch den Umlaufbestand, da sie i.d.R. schon bei der Fertigungsfreigabe des Auftrags wirksam werden.

Zunahme der Querschnittsfunktionen in der Produktion

Wie in den vorhergehenden Ausführungen dargelegt, ist eine Bedeutungszunahme planender und steuernder Bereiche bei der Qualitäts-, Zeit- und Kostenverantwortung zu verzeichnen. Die Verantwortungsverlagerung aus der Fertigung für deren Leistungswerte ist nicht auf einen einzelnen Funktionsbereich (z.B. Produktkonstruktion) beschränkt. Vielmehr ist eine Art "gleichmäßiger" Verteilung festzustellen. Damit verbunden ist die zunehmende Verzahnung unterschiedlicher Funktionsbereiche, die in ihrer Auswirkung stark auf die Fertigung bezogen ist und dort - aufgrund vielfältiger Wirkungszusammenhänge unterschiedlicher Funktionsbereiche - die Performance größtenteils determiniert⁴ [92].

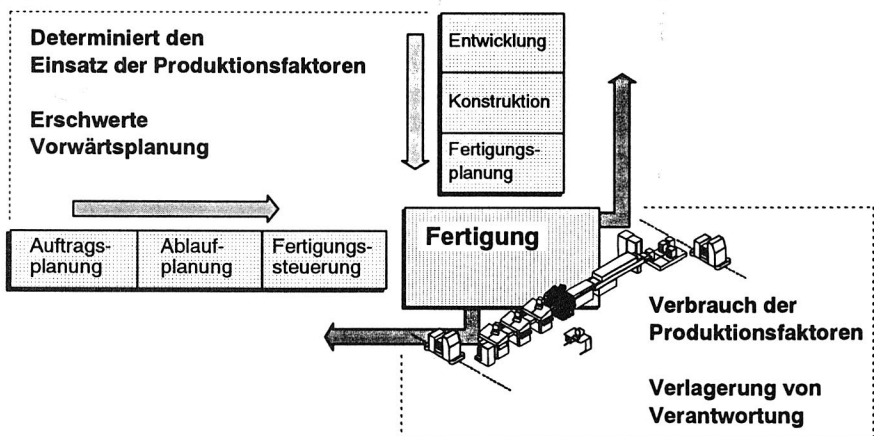


Bild 2.10: Polarisierung von Verantwortung und Verbrauch der Produktionsfaktoren

Die Summe der Suboptimas der Einzelbereiche führt nicht zu einem Gesamtoptimum, da zunehmend Wechselbeziehungen berücksichtigt werden müssen [116]. Ein Optimum an Zeitverbrauch, Qualität und Kosten in der Fertigung setzt daher die optimale Erfüllung der Querschnittsfunktionen voraus. Sie sind geprägt durch abteilungsüberspannende Wechselwirkungen und durch die Notwendigkeit zum bereichsübergreifenden, abgestimmten Vorgehen. Sie betreffen hauptsächlich Aufga-

⁴ Im folgenden ist dieser Zusammenhang mit "Verantwortungsdivergenz" bezeichnet

benfelder zur Erfüllung der Ansprüche an "Qualität, Logistikleistungen, Innovationen, Informationsverfügbarkeit und Umweltgerechtigkeit".

Am Beispiel der Querschnittsfunktion "Qualitätsmanagement" ist erkennbar, daß sich die Einstellung zur Qualitätssicherung in der Elektronik von der Prüfung in verschiedenen Fertigungsstufen hin zu einer präventiven Strategie prozeßbegleitender Wirkung entwickelt hat. Um diesem umfassenden Anspruch gerecht zu werden, stellt die Qualitätssicherung eine zentrale Querschnittsfunktion über alle Unternehmensbereiche und -hierarchien dar. Dennoch ist gerade die Elektronikproduktion auf der operativen Fertigungsebene noch immer durch eine weitgehende Trennung der Funktionen Fertigung und Prüfung der Baugruppen geprägt [31, 92, 98].

Die Beachtung der Anforderungen zum Umweltschutz gewinnt mit weiter Verbreitung des Elektroneinsatzes an Bedeutung. Dabei ist insbesondere die Technologiedefinition betroffen. Der Baugruppenentwicklung kommt die Forderung nach recyclinggerechter Gestaltung und Verwendung umweltfreundlicher Materialien zu. Die Prozeßentwicklung ist gefordert umweltgerechte Prozeßmedien einzusetzen [34].

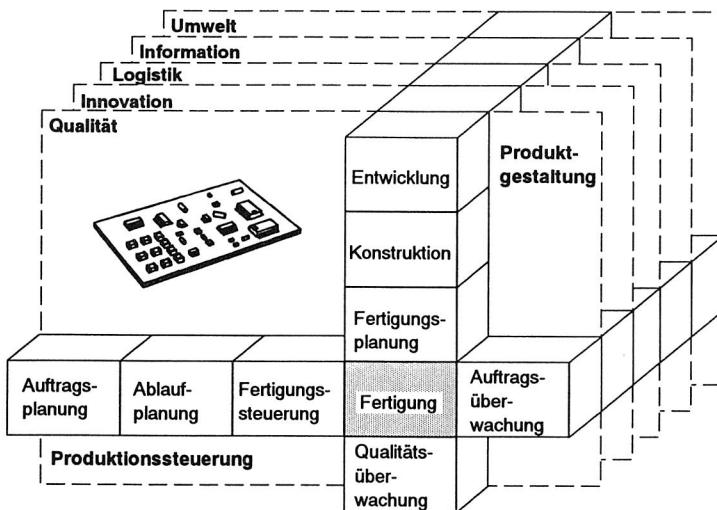


Bild 2.11: Zunehmende Querschnittsaufgaben der betrieblichen Abläufe

Der Logistik fällt in der variantenreichen Elektronikproduktion eine zentrale Bedeutung zu. In hohem Maße verantwortlich für die Kapitalbindung durch Umlaufbestand und die Kapazitätsnutzung sowie als Funktion mit hoher Außenwirksamkeit durch Termintreue und Lieferzeit betrifft sie alle Unternehmensbereiche. Herausragende Einflußmerkmale sind eine aufwandsoptimale und fertigungsgerechte Produktgestal-

tung, die Entwicklung geeigneter Fertigungsprozesse sowie der Fertigung angepaßter Steuerungsinstrumente [61, 110, 120].

Das Innovationsmanagement hat die Optimierung des Produktionsprozesses und damit die Realisierung von Rationalisierungspotentialen zum Inhalt. Mit der Bedeutungszunahme des Fertigungsvorfeldes als Ansatzbereich für Maßnahmen zur Optimierung des Werteverbrauchs in der Fertigung kommt den Innovationsaktivitäten verstärkter Querschnittscharakter zu. Hierfür ist zunehmend eine Abkehr von der Beschränkung auf einzelne Funktionsbereiche notwendig.

Im Gegensatz dazu ist die Organisationsstruktur der Technischen Auftragsabwicklung einseitig auf die Erzielung funktionaler Synergien ausgerichtet. Charakteristisch ist das Vorherrschen einer Vorwärtsplanung mit ausgeprägter Arbeitsteilung und Spezialisierung. Dies führt zu intransparenten Abläufen und zur Zersplitterung von Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortung entlang der Prozeßkette in der Technischen Auftragsabwicklung [26]. Eine Vorwärtsplanung setzt die Kenntnis aller Wirkzusammenhänge voraus. Angesichts der Komplexitätssteigerung durch steigende Bedeutung der Wechselbeziehungen wird dies erschwert.

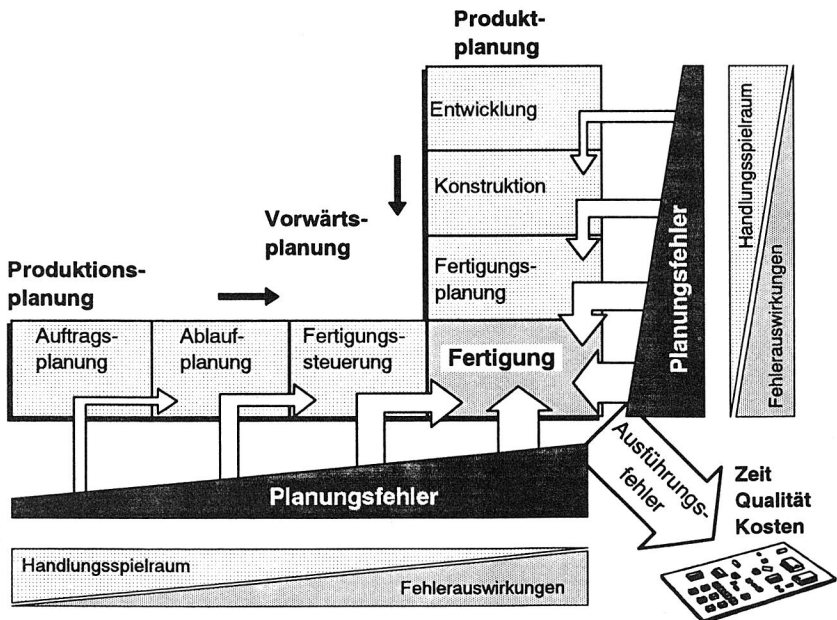


Bild 2.12: Der Bearbeitungsablauf der Produkte als Sammelbecken aller Planungs- und Ausführungsfehler

Planungsfehler im Sinne optimaler Produktherstellung addieren und verstärken sich über komplizierte Rückkopplungsmechanismen innerhalb der Planungssequenzen. Es gilt zunehmend das Prinzip *"Viele kleine Ursachen in verschiedenen Bereichen erzeugen gemeinsam eine große Wirkung in der Bearbeitung der Fertigungsaufträge"*. Dieser im Gegensatz zur linearen, tayloristischen Sichtweise *"kleine Ursache - kleine Wirkung; große Ursache - große Wirkung"* stehende Zusammenhang erschwert eine Verbesserung der Arbeitsqualität der, auf Vorwärtsplanung ausgerichteten, Planungs-, Dispositions- und Steuerungsfunktionen [116].

In der Produktion führen Ausführungsfehler im Herstellungsablauf der Produkte zusätzlich zu erhöhtem Werteverbrauch gegenüber dem Optimum. Der Bearbeitungsablauf - respektive der produktbezogene Werteverbrauch in der Fertigung - wird daher zum Sammelbecken aller Planungs- und Ausführungsfehler in der Technischen Auftragsabwicklung.

Die heute vorherrschende Autonomie der Produktionsbereiche verlangt, angesichts erhöhter Verantwortung planender und steuernder Funktionen, ein neues Verständnis der Verantwortungszuweisung. Vermehrte Diskontinuität in der Fertigung, als Folge der Flexibilitätsauswirkungen, unterstützt diese Forderung.

2.2.2 Effekte der Flexibilität

Die Innovationsgeschwindigkeit hat sich sowohl bei den Produkten als auch bei den Produktionsverfahren und -anlagen gesteigert. Betriebsmittellebenszeiten nehmen mit der Entwicklung der Produktlebenszeit und der technologischen Entwicklung allgemein ab. Durch den Einsatz flexibler Systeme verringert sich der Aufwand bei der Umstellung, wodurch kürzere Produktlebenszyklen möglich und individuelle Anpassungen von den Kunden erwartet werden. Dies führt zu:

- hoher Produkt- und Variantenvielfalt begleitet von
- produktbezogenem Stückzahlrückgang sowie zu
- vermehrter Diskontinuität im Fertigungsprozeß.

Hohe Variantenvielfalt und Rückgang der variantenbezogenen Stückzahlen

In den untersuchten Fertigungen werden aktuell 500 - 2100 verschiedene Varianten im Geschäftsjahr hergestellt, wobei sich das Stückzahlpektrum in einzelnen Fällen von 100 - 35.000 Stck. pro Jahr erstreckt. Durchschnittlich ist über den Zeitraum der letzten 5 Jahre eine Variantenzunahme von mehr als 100 % zu verzeichnen. Die Folgen dieser starken Variantenzunahme drückt sich aus in:

- erhöhter Intransparenz des betrieblichen Geschehens,
- erheblicher Verkürzung der Vorlaufzeit zur Optimierung im Fertigungsprozeß
- und einem höheren Aufwand für Planung, Steuerung und Prozeßvorbereitung.

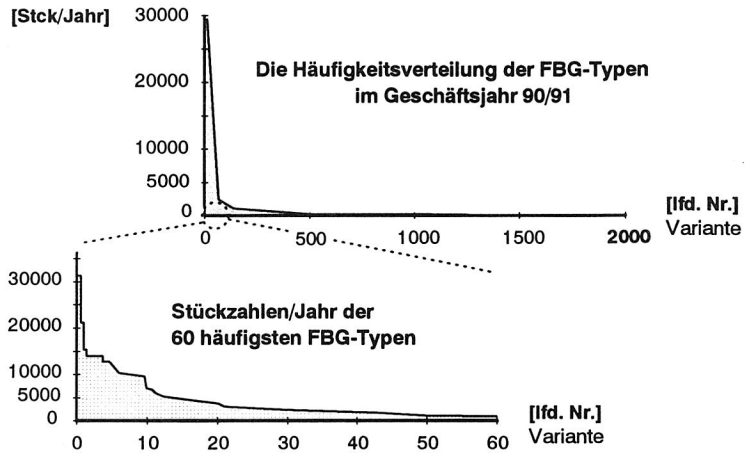


Bild 2.13: Stückzahlenspektrum und Variantenvielfalt eines Baugruppenherstellers

Erhöhte Diskontinuität im Fertigungsprozeß

Existierten in der traditionellen Fertigung noch Phasen in denen größere Aufträge mit hohen Stückzahlen abgearbeitet werden konnten, so zeigt sich heute ein ständiger Wechsel von Aufträgen mit neuen Anforderungen an die Bearbeitungstechnologie.

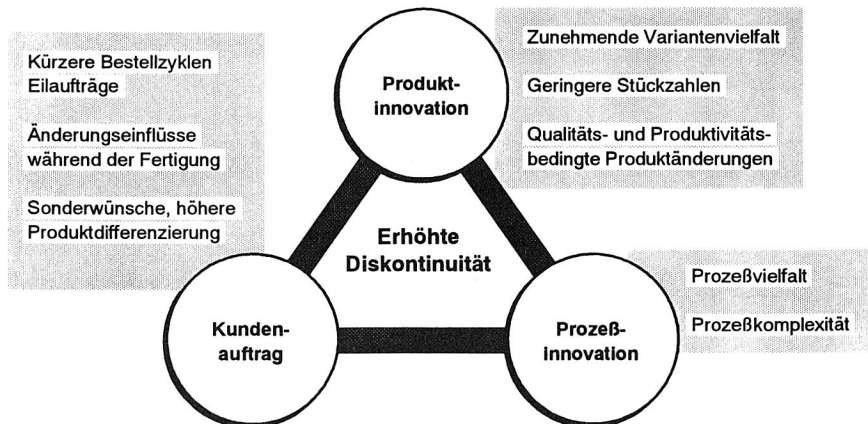


Bild 2.14: Erhöhte Diskontinuität in der Baugruppenfertigung

Als Folge der innovationsbedingten Diskontinuität im Produkt- und Prozeßbereich ist die laufende Fertigung durch stetige Änderung von Produkten und Prozessen

gekennzeichnet [104]. Die Lebensdauer der Varianten beträgt vielfach nur noch 1-2 Jahre. In der Fertigung wird diese zusätzlich durch Produktüberarbeitungen aus Qualitäts- und Produktivitätsgründen verringert. Diese technologiebedingten Einflüsse werden verstärkt durch kundenauftragsbedingte Modifikationen. Sie werden sichtbar durch:

- kürzere Bestellzyklen und damit Forderung nach Auftragseilbehandlung,
- Sonderwünsche infolge zunehmender Produktdifferenzierung mit Einzelauftragscharakter und
- vermehrte kundenauftragsbedingte Änderungseinflüsse bis in die Phase des Fertigungsprozesses. Elektronische Produkte erfordern in der Regel kundenspezifische Adaptionen, die, bei abnehmerseitig noch nicht abgeschlossener Planung, oft noch in der Fertigungsphase geändert werden.

2.3 Randbedingungen bei der Fertigungsoptimierung

Hauptziel des Unternehmens ist die Existenzsicherung durch Erhalt und Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit. Auf die Fertigung bezogen setzt dies eine, den Mitbewerbern äquivalente und die Anforderungen des Umfeldwandels einbeziehende, Optimierung im Herstellungsprozeß voraus. Die Situationsanalyse der Baugruppenproduktion zeigt, daß infolge der dynamischen Produkt- und fertigungsseitigen Technologieinnovation in Kombination mit zunehmender Forderung nach Flexibilität die hierfür notwendige Planungs- und Entscheidungssicherheit stark abnimmt. Dies wird noch verschärft durch den Bedarf an kürzeren Entscheidungszyklen.

Die Randbedingungen, die es unter dem Gesichtspunkt einer effizienten Anpassung der Fertigung an die rasch wechselnden Anforderungen des Umfelds zu beachten gilt, gliedern sich auf in:

- Entwicklung der Rationalisierungspotentiale in der Fertigung
- Angewandte Optimierungsmechanismen
- Dynamisches und komplexes Entscheidungsfeld
- Sektorale Leistungsmessung bei der Bestimmung der Ausgangssituation
- Ableitung von Anforderungen an die Fertigung, Sollwertproblematik
- Erhöhte Bedeutung des Zeitfaktors, Diskontinuität

2.3.1 Entwicklung der Rationalisierungspotentiale in der Fertigung

Während der letzten Jahre dominierte in der Fertigung die Rationalisierung durch technische Maßnahmen. Im Vordergrund stand hier die Automatisierung von singulären Prozessen, Transportsystemen und informationstechnischen Verfahren.

Diese Verbesserungspotentiale wurden bislang primär in Kongruenz mit der funktionalen Arbeitsteilung realisiert.

Die gegenwärtige Entwicklung auf dem Sektor der Produkt- und Produktionstechnologie lassen erkennen, daß es sich um eine dauerhafte Veränderung der Produktion handelt. Damit verbunden ist die Notwendigkeit eines Wandels von der traditionellen, verrichtungsorientierten Arbeitsweise hin zur integrierten Fertigung [26, 116]. In neuerer Zeit tritt daher die Bedeutung effizienter, strukturübergreifender Abläufe immer stärker hervor. Dies steht in engem Zusammenhang mit

- der zunehmenden Ausschöpfung offensichtlicher Rationalisierungspotentiale in der Fertigung,
- den sich verkürzenden Innovationszyklen im Produkt- und Prozeßbereich,
- einer Abnahme der Beeinflußbarkeit des produktbezogenen Werteverbrauchs in der Fertigung durch auf diesen Bereich beschränkte Maßnahmen sowie
- der zunehmenden Varianten- und Prozeßvielfalt.

Die Rationalisierungsmöglichkeiten durch Maßnahmen in der Fertigung werden durch die Automatisierungsbestrebungen in ihrer Ausprägung stetig geringer, im Gegensatz dazu steigt der Aufwand für deren Auffindung und Realisierung. Damit erhöhen sich die Anforderungen an Analyse-, Planungs- und Entscheidungsdaten hinsichtlich Aktualität, Vergleichbarkeit und am IST-Zustand orientierter Genauigkeit.

2.3.2 Angewandte Optimierungsmechanismen

Die Verbesserung und Rationalisierung ist prinzipiell durch zwei unterscheidbare Mechanismen zu erzielen (vgl. Abb. 2.15):

- Der Lernkurveneffekt ist passiver Art und resultiert aus dem Erfahrungszuwachs der Mitarbeiter im Umgang mit der Produktionstechnologie. Dieser Lernvorgang ist auf den engeren Wirkungsbereich der Mitarbeiter in den Fertigungsabteilungen beschränkt. Neuerungen aufgrund dynamischer Randbedingungen wirken auf diesen Mechanismus lähmend.
- Aktive Optimierungszyklen mit zielgerichteter Suche nach Verbesserungspotentialen und bereichsübergreifender Ursachenanalyse erschließen größere Potentiale. Änderungen in der Produkt- oder Technologiestruktur wirken hier motivierend. Diese Zyklen haben damit wesentliche Bedeutung bei der Anpassung an neue Randbedingungen und Ziele.

Das Erfahrungswertkurvenkonzept mit der Aussage, daß jede Verdopplung der kumulierten Produktionsmenge die inflationsbereinigten Stückkosten um 20-30% senkt, verliert bei den sich verkürzenden Produktzyklen an Bedeutung.

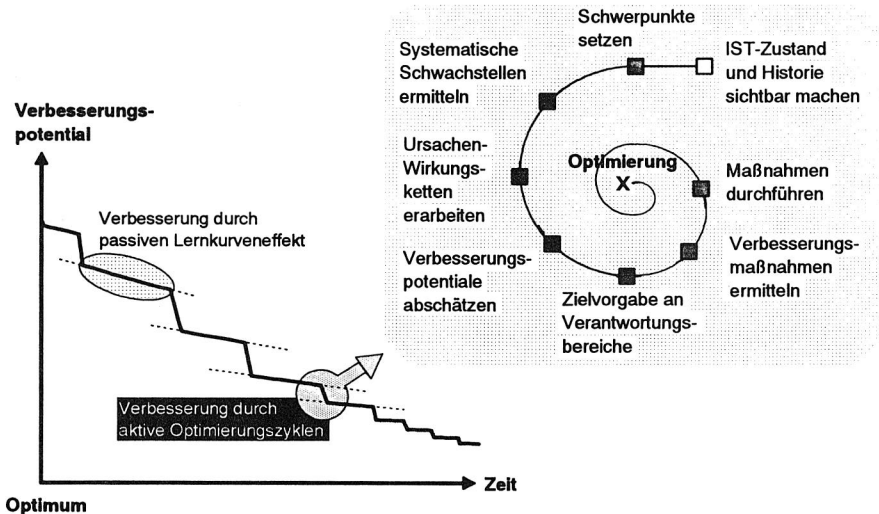


Bild 2.15: Aktive Optimierungszyklen in der Fertigung bei hoher Diskontinuität

Beim Einsatz flexibler Produktionssysteme zeigt sich, daß die Erfahrung als Voraussetzung zur Kostensenkung nicht an die kumulierte Produktionsmenge, sondern vielmehr an die Dauer und Breite der Anwendung dieser Systeme gebunden ist. Die flexible Produktion ermöglicht es in stärkerem Maße als die herkömmliche, starre Automatisierung gesammelte Erfahrung auf neue Produkte und Varianten zu übertragen. Dies hat auf neu einzuführende Varianten eine kostensenkende Wirkung. Die Erfahrungskurven haben ihren Beginn daher nicht mehr bei der Einführung neuer Varianten, sondern bei der Einführung neuer Technologien [92, 128, 129].

Damit wird aber auch deutlich, daß - infolge vermehrter technologischer Diskontinuität - die weitgehend passive Optimierung durch enggefaßten Wissensgewinn der Mitarbeiter an Wichtigkeit abnimmt. An ihre Stelle treten verstärkt aktive, aus täglichen Problemen heraus angestoßene Optimierungszyklen, deren Maßnahmenansatz i.d.R. nicht auf die unmittelbare Umgebung des Problemauftritts beschränkt ist und damit der Forderung nach einer Verbesserung strukturübergreifender Abläufe gerecht werden.

2.3.3 Dynamisches und komplexes Entscheidungsfeld

Die Strukturveränderungen in der Baugruppenfertigung erhöhen die Freiheitsgrade im Entscheidungsfeld bei der Optimierung von Produktionssystemen und steigern damit die Komplexität. Überlagert wird diese Verflechtung durch Variantenvielfalt und durch verlängerte Prozeßketten infolge zunehmender Produktkomplexität.

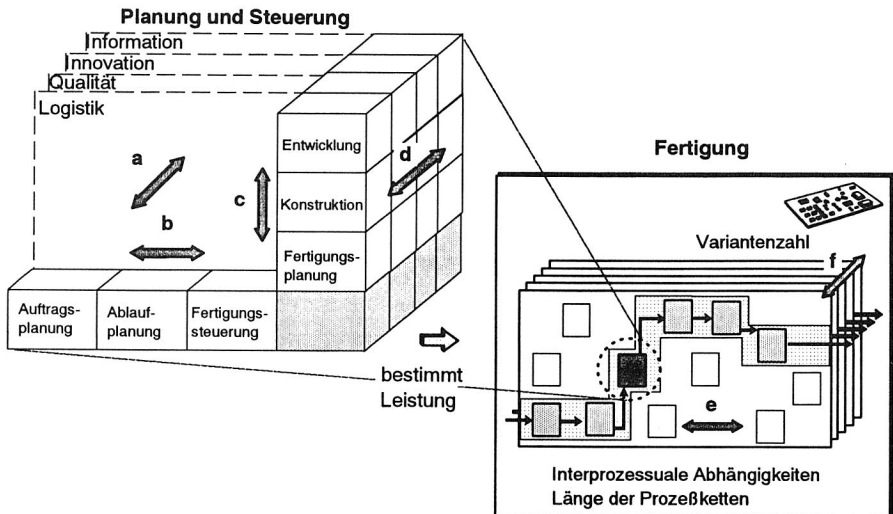


Bild 2.16: Dynamisches und komplexes Entscheidungsfeld

Die Abbildung 2.16 verdeutlicht die Komplexitätszunahme des Produktionssystems:

- a) Wechselwirkungen in der Produktionsplanung und -steuerung

Die Arbeitsschritte in der Kette der Termin- und Maschinenbelegungsplanung sind aufeinander aufbauend. Infolge der Vorwärtsplanung werden die Entscheidungsfreiheiten nachfolgender Funktionen durch vorhergehende Arbeitsergebnisse definiert und eingeschränkt. Hier wird primär der Zeitbedarf und die Termintreue determiniert.

- b) Wechselwirkungen in der Produktgestaltung und Prozeßdefinition

Analoges gilt für die technologiedefinierende Planungssequenz. Hier ist der Wirkungszusammenhang besonders ausgeprägt, da die Produktgestaltung wesentlichen Einfluß auf fertigbare Qualität und Werteverbrauch ausübt.

- c) Wechselwirkungen zwischen PPS und Planung (Querschnittsfunktionen)

Die Querschnittsfunktionen stellen mehrdimensionale Wechselwirkungsnetze dar. Am Beispiel einer zu fertigenden Qualität bei der Dünndrahtkontaktierung (Wire-Bonding, COB - Technique) werden diese Wechselbeziehungen deutlich. Die Bondqualität definiert sich diesbezüglich durch die eingeschränkte Reaktionsfähigkeit des Wirebondens auf unterschiedliche Stärken der Oxidations-schicht und den Oxidationsgrad der Bondstellen.

Der Oxidationsgrad der Kontaktierungsstellen ergibt sich aus: der Verweildauer des Substrates in sauerstoffreicher Atmosphäre sowie der Oxidationsanfälligkeit des Materials.

Mitverantwortlich für die Bondqualität sind demzufolge die Arbeitsplanung bei der Auswahl der Anlage, die Ablaufplanung und Fertigungssteuerung bei der Einhaltung gleichförmiger Verweildauern im vorhergehenden Bearbeitungsablauf sowie die Baugruppenentwicklung bei der Definition der Bondmaterialien.

d) Wechselwirkungen zwischen den Querschnittsfunktionen

Die Querschnittsfunktionen selbst stellen keine abgeschlossenen Aufgabenbereiche dar. So ist die Qualitätssicherung und die Logistik ohne geeignete Informationsbereitstellung nicht denkbar, und sie sind selbst wichtiger Gegenstand des Innovationsmanagements. Ohne eine hohe Prozeßsicherheit mit geringer Nacharbeit kann die Fertigung nicht planbar und damit nicht logistikgerecht sein. Umgekehrt erfordert, wie am Beispiel der Oxidationsproblematik gezeigt, eine hohe Fertigungsqualität eine abschnittsweise gleichförmige Logistikkette.

e) Interprozessuale Wechselwirkungen in der Prozeßkette

Die Zunahme der interprozessualen Wechselwirkungen behindern die Transparenz der Wirkungszusammenhänge aus Sicht der Planung und erschweren mit zunehmender Länge der Prozeßketten die Bewältigung von Querschnittsaufgaben.

f) Wechselwirkungen der Bearbeitungsabläufe verschiedener Fertigungsaufträge

Mit erhöhter Variantenvielfalt und dem Rückgang produktbezogener Stückzahlen steigt die Anzahl der Fertigungslose unterschiedlicher Versionen. Die Planbarkeit und die Transparenz der Fertigung verringert sich dadurch.

Das Identitätsprinzip, die Zuordnung von Verantwortung und Verursachung für Leistungswerte in der Fertigung, stellt sich damit unter erschwerten, schnell wechselnden Randbedingungen dar. Die Verursachung von produktbezogenem Werteverbrauch (Qualität, Zeit und Kosten) in der Fertigung und der Verantwortungsort liegen zunehmend in funktional und organisatorisch getrennten Bereichen. Der Verantwortungszuwachs im Fertigungsvorfeld läßt bei der Ursachenforschung für Verbesserungspotentiale weitverzweigte Ursachen-Wirkungs-Netze entstehen. Diese Intransparenz erhöht sich durch interprozessuale Wechselwirkungen in der Prozeßkette und durch Korrelationen zwischen den Bearbeitungsabläufen verschiedener Aufträge.

Die heute vorherrschende "*Planwirtschaft*", die nur dann effektiv funktioniert, wenn alle Wechselbeziehungen bekannt sind und in die Planung einbezogen werden können, gelangt angesichts der Komplexitätssteigerung an Grenzen. Hier sind Regelstrukturen erforderlich, die über verursachungsgerechte feed-back Informationen auf fehlerhaft angesetzte oder unbeachtete Wirkungszusammenhänge korrigierende Lerneffekte ausüben.

2.3.4 Sektorale Leistungsmessung bei der Bestimmung der Ausgangssituation

Traditionell sind Bewertungsansätze im Produktionsbereich arbeitsplatz- oder kostenstellenorientiert angelegt [91, 96]. Die Quantifizierung der IST-Situation erfolgt über bereichs- und betriebsmittelbezogene Leistungswerte und richtet sich i.d.R. nach der Kostenstellenstruktur.

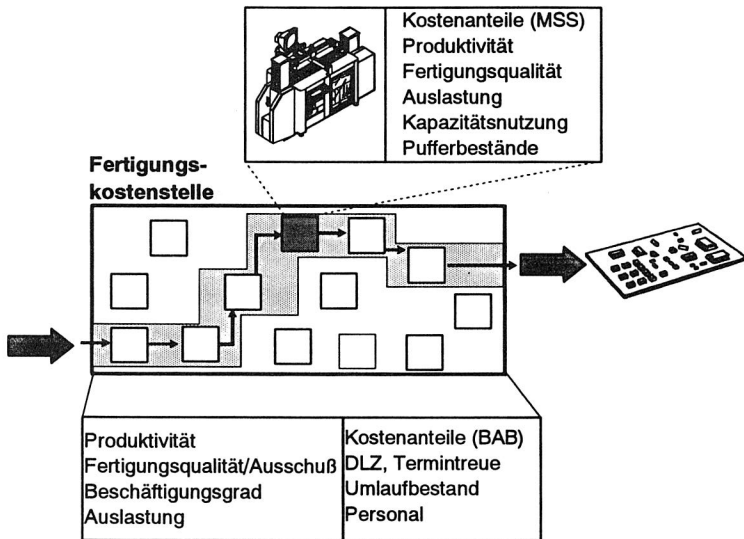


Bild 2.17: Sektoral orientierte Informationen als heutige Entscheidungsgrundlage

Die betriebsmittelbezogene Leistungserfassung ist weitgehend variantenneutral. Umfang und Detaillierungsgrad der erfaßten Informationen sind von der technologischen oder finanziellen Wertigkeit der Anlage abhängig. Analog ist die auf Kostenstellen bezogene Leistungsmessung zu sehen. Sie repräsentiert die einzelnen Leistungen im betrachteten Bereich in verdichteter Form.

Dieser Informationsgrundlage sind drei Eigenschaften gemein :

- Periodischer Anfall der Informationen, insbesondere der Kosteninformationen
- Hoher Verdichtungsgrad
- Weitgehende Variantenneutralität

Die Darstellung 2.18 gibt das untersuchte Praxisbeispiel einer vollautomatisierten, zweischichtig genutzten Siebdruckanlage wieder. Sie basiert auf einer automatisier-

ten Maschinendatenerfassung mit der Möglichkeit manueller Ursachenzuweisung im Fall der Arbeitsunterbrechung. Diese Systematik stellt vorwiegend für kapitalintensive Anlagen den heutigen Stand der Technik dar.

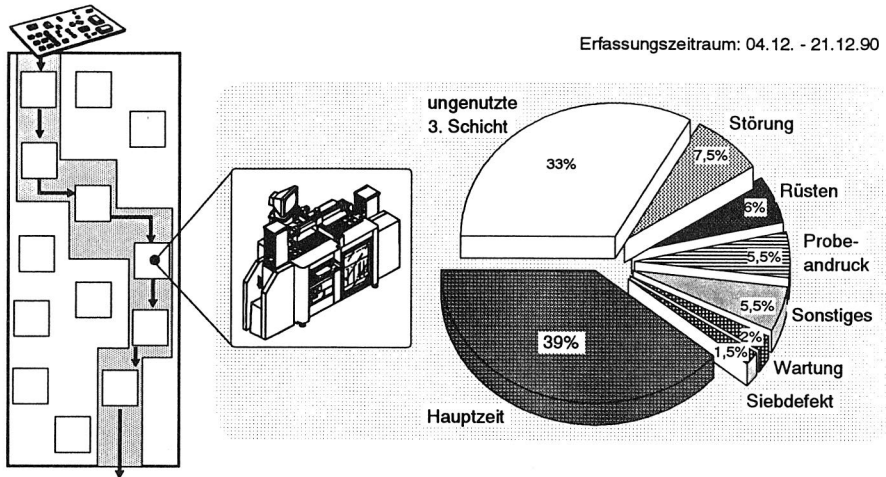


Bild 2.18: Ermittlung der betriebsmittelbezogenen Nutzungszeitaufteilung auf Basis der Maschinendatenerfassung

Primäre Zielsetzung dieser betriebsmittelbezogenen Quantifizierung ist die Bewertung, ob eine Produktionsanlage wirtschaftlich und technisch optimal eingesetzt wird. Bei der Analyse der Betriebsmittel werden im wesentlichen die Maschinen- und Personalkosten, der Nutzungsgrad sowie die einzelnen Zeitanteile betrachtet. Wesentliche Eigenschaft dabei ist, daß kein direkter Bezug zu einzelnen Aufträgen oder Produkten hergestellt werden kann, da die Leistungswerte auftragsneutral erfaßt werden. Für die Interpretation der Auslastung und der Zeitanteile ist bedeutsam, daß die untersuchten Kenngrößen Rückmeldewerte während der Einsatzdauer verarbeiten und somit Summeninformationen über Zeitperioden darstellen. Hierdurch wird der Informationsverdichtungsgrad erhöht.

Die gewinnbaren Informationen sind zur prinzipiellen Beurteilung der Betriebsmittelnutzung gut geeignet. Aufgrund der Begrenzung auf das Betriebsmittel sind sie jedoch im Rahmen der Ursachen-Analyse nur für Kausalzusammenhänge im Bereich der technischen Maschinenkonzeption nutzbar. So an diesem Beispiel zur Verbesserung des Rüstvorgangs oder Optimierung der Standzeit der Siebe. Nicht eruierbar ist das Zustandekommen der Anzahl an Rüstvorgängen oder Zusammenhänge zwischen der Bearbeitungskomplexität des Auftrages und Maschinenstörungen. Hierfür ist eine Korrelation der Maschinenzustände mit dem Fertigungsauftrag erforderlich.

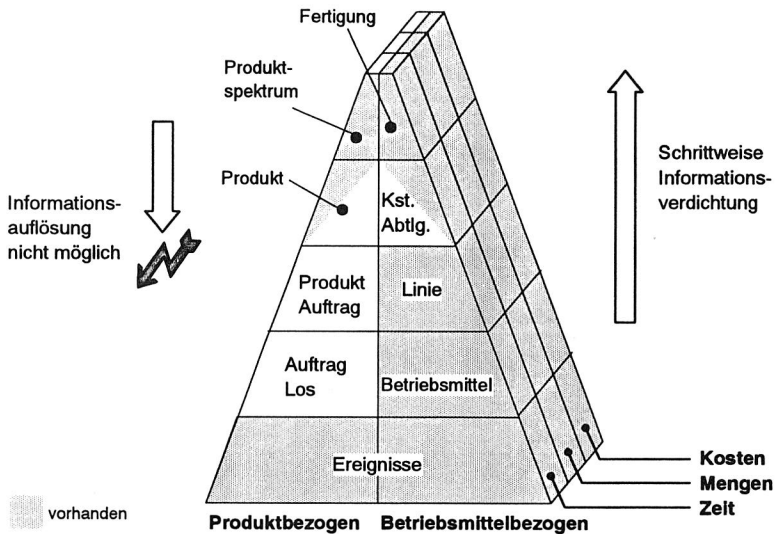


Bild 2.19: Informationsverfügbarkeit hinsichtlich des IST-Zustands in der Fertigung

Diese Ausführungen zeigen die stark systembezogene, sektoral orientierte Informationsverfügbarkeit in der Fertigung. Informationen bezüglich Produktivität, Zeitbedarf und anfallende Kosten der Betriebsmittel und Kostenstellen können als weitgehend verfügbar angesehen werden⁵. Es erfolgt dabei eine schrittweise Informationsverdichtung, ausgehend von den Ereignissen am Betriebsmittel und in der Kostenstelle.

Auf das Produkt bezogen ist, bei existentem Rückmeldesystem, die Ereignisebene teilweise vorhanden. Sie findet, zeitlich eng begrenzt, bei der Fortschrittskontrolle und zum Abgleich mit der Belegungsplanung Anwendung. Mittelfristig genutzt werden i.d.R. produktbezogene Informationen aus dem Datenbestand des PPS-Systems, das bereichsbezogene IST-Werte ermittelt. Eine Informationsdekomposition ist, ausgehend von diesen verdichteten Daten, nicht möglich.

2.3.5 Ableitung marktorientierter Anforderungen an die Fertigung

Neben der IST-Situation ist die Kenntnis von Anforderungen und Zielen Grundlage für Entscheidungen zur Optimierung der Fertigung. Aus dem Umfeld und dessen Veränderung werden die Anforderungen des Marktes an die Herstellung elektro-

⁵ Die unterschiedliche Bemessungsgrundlage in produkt- bzw. auftragsbezogener Planung und in der Fertigung (sektoraler Leistungsmessung) wird im folgenden mit dem Begriff "Bezugsobjektdifferenz" bezeichnet.

nischer Baugruppen abgeleitet. Im Abgleich mit der IST-Situation in der Fertigung werden der Handlungsbedarf detektiert und die Ziele definiert.

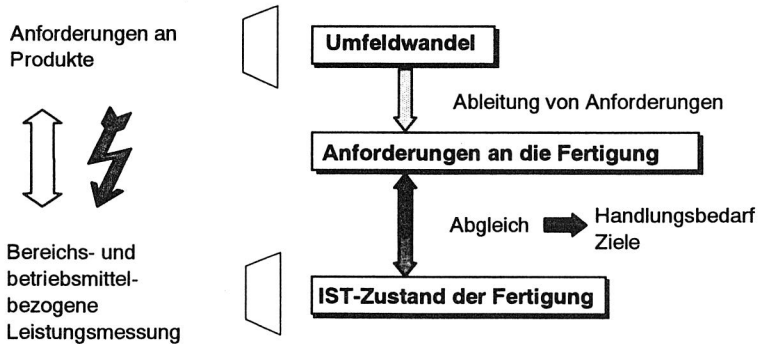


Bild 2.20: Ermittlung von Handlungsbedarf und Zielen bei der Optimierungsplanung

Die heute in den Zielen beinhaltete, hohe Unsicherheit ist in der Diskrepanz der Leistungsmessung der Fertigung und der Ableitung von Marktanforderungen begründet. Die kundenorientierten Anforderungen sind in Form von "Zeit-, Qualitäts- und Kostenvorgaben", primär an das Produkt, als dem Bindeglied zwischen Unternehmen und Kunde, geknüpft [75]. In der Fertigung stehen eher die produktneutralen Gesamtleistungen und -kosten im Vordergrund.

Die Informationssysteme sind heute auf diese bereichsbezogenen Leistungs- und Kostenkriterien ausgerichtet. Daher wird versucht die Anforderungen des Umfelds auf dieses Schema anzupassen und Sollvorgaben für variantenneutrale Leistungswerte, wie "Umlaufbestand, Gemeinkosten, Termintreue, Ausschußquoten, Auslastungsgrade etc." zu ermitteln [17, 13]. Die Folge ist eine relativ gute Meßbarkeit der bereichsbezogenen IST-Situation mit den heutigen Hilfsmitteln. Die Ungewißheit ergibt sich jedoch aus der Umsetzung Produkt- und variantenbezogener Marktforderungen in fertigungsbezogene Leistungs- und Kostenmeßkriterien und der damit verbundenen Anhebung des Abstraktionsgrads. Dieser Informationsverlust führt dazu, daß die fertigungsbezogenen Ziele, ungeachtet der Verantwortlichkeit für die Leistungskriterien, der Fertigung vorgegeben werden, bzw. daß sie in Teilbereichen nicht den Anforderungen des Marktes an den Bearbeitungsablauf der Fertigungsaufträge gerecht werden.

Dieser Zusammenhang wird am Fall einer untersuchten Fertigung verdeutlicht:

In der Vorfertigungsabteilung entsprachen die Auslastungsgrade einzelner, kapitalintensiver Produktionsanlagen nicht den Zielvorstellungen. Um detailliertere Informationen über die Nutzungszeitaufteilung zu erhalten wurden Maschinendatenerfas-

sungssysteme installiert, die als Ergebnis hohe Rüst- und Leerlaufzeiten zu erkennen gaben. Um diese Wirkungen zu beheben, wurden die Maschinen technisch verändert, Fertigungsaufträge zu Blöcken zusammengefaßt und höhere Bestände im Umfeld der Anlagen zugelassen. Damit konnte das Abteilungsziel hinsichtlich der Auslastung erreicht werden.

Für die Fertigungsaufträge ergaben sich, auch über diese Arbeitsgänge hinaus, ungünstige Auswirkungen. Der höhere Durchsatz ließ einen Engpaß in nachfolgenden Bereichen entstehen, der nahezu alle Aufträge der Gesamtfertigung beeinträchtigte. Damit erfuhren die Aufträge eine Zeitverzögerung vor den betrachteten Anlagen sowie im entstandenen Engpaß. Die Kapitalbindung durch Umlaufbestand stieg durch die Verweildauern und die höheren Auftragswerte im Engpaß an. Damit wird deutlich, daß den Marktforderungen an den Bearbeitungsablauf der Produkte in zeitlicher und in monetärer Hinsicht nicht entsprochen wurde.

Dieser Zusammenhang zeigt, daß vermeintlich optimale Leistungswerte einzelner Fertigungsbereiche (Suboptima), insbesondere bei Variantenvielfalt und komplexer Fertigungsstruktur, nicht den minimalen Werteverbrauch der Fertigungsaufträge im Gesamten repräsentiert [116]. Infolge der notwendig starken Zergliederung der Fertigung und unter den komplexen Rahmenbedingungen ist ein Gesamtoptimum mittels bereichsbezogener Zielvorgabe als nicht erreichbar anzusehen.

Vielmehr gilt, daß im Falle marktgerechter Leistungswerte der einzelnen Fertigungsaufträge die Fertigung sich einem gesamt optimalen Zustand angenähert hat.

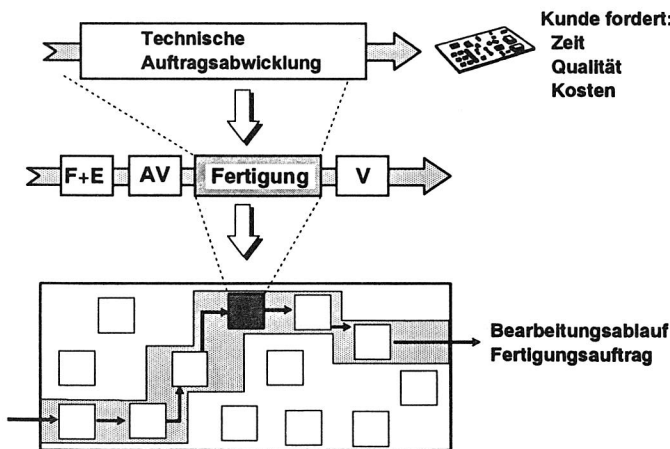


Bild 2.21: Durchgängigkeit marktorientierter Anforderungen

Eine verbesserte Entscheidungssicherheit im Rahmen der Optimierungsplanung wird durch die Reduktion des Abstraktionsgrades erreichbar. Dabei steht das Produkt in Gestalt des Fertigungsauftrags und dessen Bearbeitungsablauf im Vordergrund. Das Umfeld, respektive der Markt, stellt Anforderungen an das Produkt in Form von Qualität, Kosten und Lieferzeit [92]. Sie werden auf den Produktdurchlauf in der Produktion abgebildet, womit sich Anforderungen an die Funktionsbereiche ableiten lassen.

Dieses Vorgehen unterstützt die Forderung nach einer ganzheitlichen produktbezogenen Betrachtungsweise, stellt eine direkte Bemessungsgrundlage für Erfolg oder Mißerfolg hinsichtlich einer Annäherung an ein Gesamtoptimum dar und entschärft die dargelegte Sollwertproblematik. Sie setzt jedoch eine produktbezogene und verursachungsgerechte Aufwandszuordnung (Zeit, Qualität und Kosten) in der Fertigung voraus, die im erforderlichen Detaillierungsgrad heute als nicht existent angesehen werden muß.

2.3.6 Die Bedeutung des Zeitfaktors bei der Fertigungsoptimierung

Der Erhalt und die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit relativ zu den Mitbewerbern ist herausragendes Ziel. Notwendig ist daher die schnelle Optimierung der Fertigung zur reaktionsschnellen Anpassung an kundenorientierte Anforderungen[19, 72, 116].

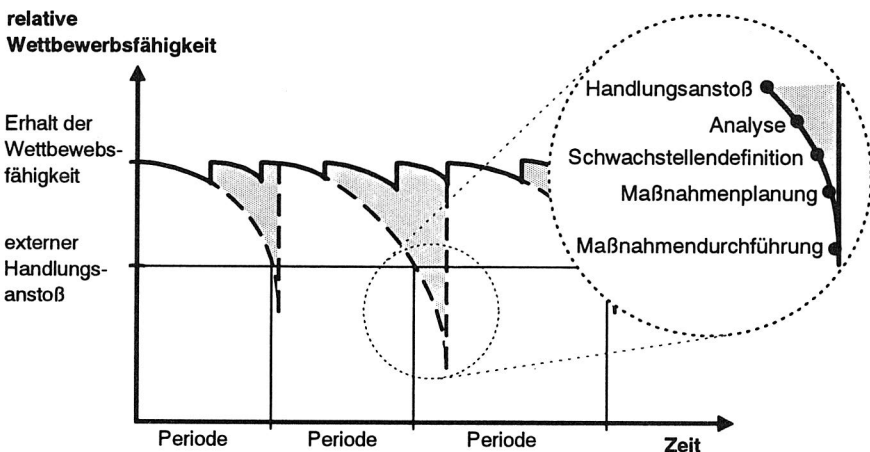


Bild 2.22: Motivation für kontinuierliche Anstrengungen zum Erhalt der relativen Wettbewerbsfähigkeit

Das Erkennen des Handlungsbedarfs stellt einen wichtigen Zeitfaktor dar. Das heute vorherrschende starre, periodische Berichtswesen mit hohem, auf Funktionsbereiche und Kostenstellen ausgerichtetem Verdichtungsgrad ist primär die Ursache dafür, daß der Anstoß zur Rationalisierung in erster Linie externen, periodischen Charakter besitzt. Orientiert an Mitbewerbern und am Markt wirken häufig Betriebsvergleiche, Produktkonditionen, Marktanteile, Gewinnentwicklungen oder Herstellungskosten als Anstoß für Rationalisierungsprogramme [13, 14].

Die Folgen solch periodisch angestoßener Optimierungsvorgänge sind [23]:

- Das Flächendefizit, durch die Integration über die Kurvenverläufe, zeigt einen relativen Wettbewerbsfähigkeitsverlust. Er beinhaltet eine potentielle Einbuße an Handlungsfähigkeit gegenüber Konkurrenten.
- Eine schwankende Wettbewerbsfähigkeit hat Einfluß auf den Beschäftigungsgrad und überlagert damit konjunkturbedingte Änderungen der Auslastung. Dies erhöht die Diskontinuität in der Fertigung und läuft der Forderung nach Planbarkeit zuwider.
- Bei insgesamt ungünstiger Unternehmenssituation verringern sich die zur Problemlösung verfügbaren personellen und finanziellen Ressourcen. Andererseits steigen die Anforderungen durch ein hektischeres Tagesgeschäft, so daß für die Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen weniger Spielraum bleibt.

Der kontinuierliche Umfeldwandel und zunehmende Diskontinuität erfordern eine kontinuierliche, problembezogene Optimierung. Die weitgehende Ausschöpfung funktionsbezogener Rationalisierungspotentiale und die steigende Bedeutung der Querschnittsfunktionen verlangt die Optimierung funktionsübergreifender, stark branchen- und werksbezogener Abläufe [92]. Dadurch sind die Verbesserungen meist inkrementaler Art, die losgelöst von periodischen Zyklen des Berichts- und Rechnungswesen durchgeführt werden müssen. Dies setzt ein schrittweises, auf Einzelprobleme bezogenes Vorgehen voraus. Hier gilt es, systematische Fehlerquellen und Verbesserungspotentiale zu erkennen. Das heutige Berichtswesen kann infolge der starren Periodizität und des hohen, sektoral orientierten Verdichtungsgrads nur strategische Hilfestellung geben.

3. Strategie- und Methodikentwicklung für das Operative Fertigungscontrolling

Auf Grundlage der ermittelten Rahmenbedingungen ist für die Fertigungsoptimierung eine geeignete, fertigungsübergreifende Vorgehensweise zu entwickeln, um so Verbesserungspotentiale gesichert erkennen sowie notwendige Handlungen initiieren und koordinieren zu können. Basierend auf der Situationsanalyse zur Herstellung elektronischer Baugruppen wird die heutige, primär sektorale Vorgehensweise dieser Funktion und die, angesichts bereits heute gültiger Randbedingungen, auftretenden Defizite dargelegt. Darauf aufbauend wird eine neue, produktbezogene Strategie und Methodik erarbeitet und die erforderlichen Voraussetzungen für ihre Einsetzbarkeit dargelegt.

3.1 Abgrenzung und Zielspektrum des Operativen Fertigungscontrolling

Controlling kennzeichnet einen Teilbereich der Unternehmensführung, dessen Aufgabe in der Koordination des Führungsgesamtsystems besteht. Unter Koordination wird dabei die Ausrichtung der Einzelaktivitäten auf übergeordnete Ziele verstanden. Die Bedeutung dieser Koordinationsfunktion wird um so wesentlicher, je größer und damit von mehr Führungskräften gesteuert und gleichzeitig weniger überschaubar ein Unternehmen wird, je vielfältiger das Produktspektrum, je schneller sich die Unternehmensumwelt wandelt und je höher die Spezialisierung der Führungskräfte wird [119]. Diese vier Aspekte besitzen in der Elektronikproduktion derzeit eine besondere Aktualität.

Nach KÜPPER, WEBER und ZÜND definiert sich das Controlling als Regelkreisfunktion wie folgt [60]:

"Controlling ist eine Komponente der Führung sozialer Systeme. Es unterstützt die Führung bei ihrer Lenkungs Aufgabe durch eine Koordination des Führungsgesamtsystems. Diese Koordination beinhaltet insbesondere systembildende und systemkoppelnde Aufgaben und bezieht sich schwerpunktmäßig auf das Planungs-, Kontroll- und Informationssystem."

Für die Fertigung bedeutet dies die Wahrnehmung einer Funktion, die als Subsystem der Fertigungsleitung, die Planung, die Kontrolle sowie die Informationsversorgung koordiniert und auf diese Weise die Adaption der Fertigung an die Planung unterstützt. Die bereitzustellenden Informationen haben den Charakter einer Argumentations- und Entscheidungsunterstützung.

Die Koordinationsaufgabe ist in einen strategischen und einen operativen Teil zu differenzieren. Die Motivation hierfür liegt in den stark voneinander abweichenden Rahmenbedingungen der Planung, die ihrerseits unterschiedliche Instrumente und Abläufe nach sich ziehen [47, 92].

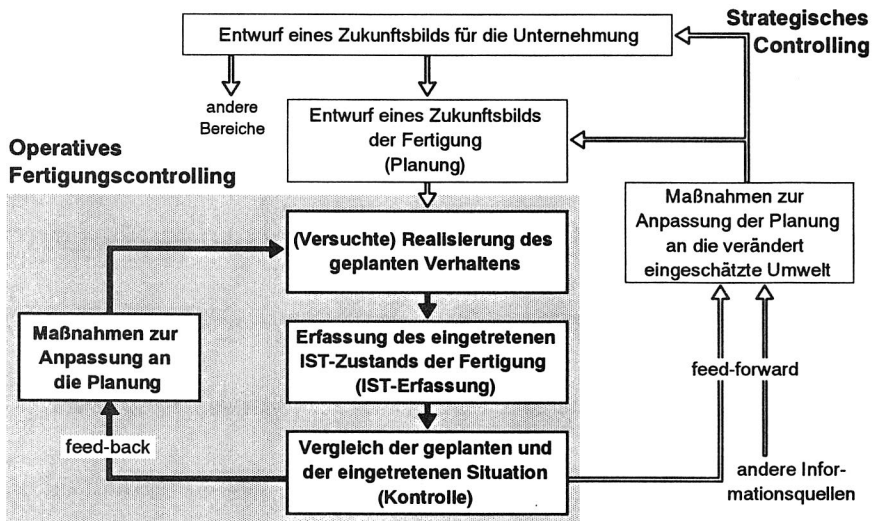


Bild 3.1: Abgrenzung und Funktion des Operativen Fertigungscontrolling

In der vorliegenden Arbeit steht die Optimierung der Fertigung, als Gegenstand des Operativen Fertigungscontrolling, im Mittelpunkt. Ausgehend von der globalen, in Abstimmung mit der Unternehmensumwelt durchgeführten Zielbildung des strategischen Teils sind durch das Operative Controlling aus dem IST-Zustand der Fertigung Abweichungen von den Vorgaben zu erkennen und über Ursachenanalysen geeignete Maßnahmen zur Anpassung an den Planungszustand zu ermitteln.

Die Bedeutung der Koordinationsfunktion steigt mit zunehmender Komplexität und Dynamik der Unternehmensum- und -innenwelt und macht damit eine Aufgabenspezialisierung sinnvoll. Die Frage der Trägerschaft dieser Funktion - ob Management oder eigens dafür vorgesehenes Personal - hat jedoch keinen originären Einfluß auf die Aufgabe selbst [119]. Unabhängig von der Trägerschaft ist der Funktionsumfang des Operativen Fertigungscontrolling integrativer Bestandteil jeder Produktion und findet daher Eingang in die betrieblichen Abläufe (vgl. Abb. 3.2).

3.1.1 Operatives Fertigungscontrolling, Träger des Innovationsmanagements

Die Optimierung der Produktion ist gekennzeichnet durch Innovationen. Das Operative Fertigungscontrolling, in hohem Maß verantwortlich für die Adaption der Fertigung an sich verändernde Zielsetzungen, ist damit zentraler Träger des Innovationsmanagements.

Wie in der Situationsanalyse gezeigt, werden erzielte Leistungswerte bei der Herstellung der Produkte in der stark automatisierten Elektronikfertigung zum hohen Anteil fertigungsextern determiniert. Innovationen zur Optimierung der Herstellung elektronischer Produkte erfordern daher den Einbezug aller Einflößbereiche. Im Großen lassen sich hier drei Segmente für den Maßnahmenansatz abgrenzen:

- Produktgestaltung und Planung
- Produktionsplanung und Auftragssteuerung
- Fertigungssystemgestaltung

Sie stellen die Freiheitsgrade dar mit denen auf geänderte Anforderungen an die Fertigung reagiert werden kann. Hier findet die Innovation zur Verbesserung von Leistungswerten der Fertigung und der Produkte statt. Sie bezieht sich hier auf die Erneuerung betrieblicher Abläufe und Prozesse, wobei keine absolute Neuigkeit vorausgesetzt wird.

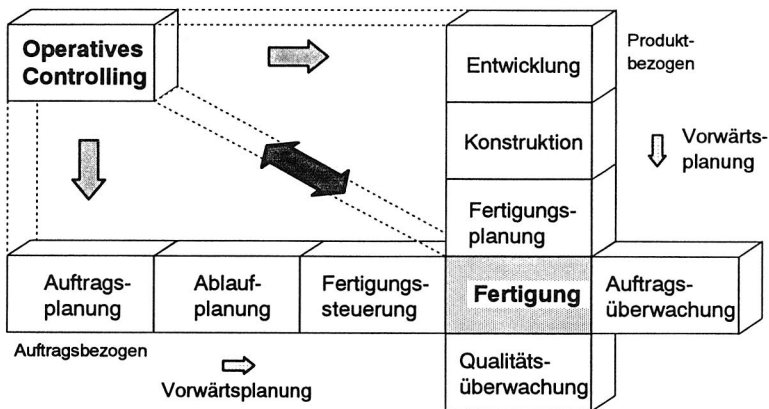


Bild 3.2: Funktionsintegration in die betrieblichen Abläufe

Kernziel der Produktionsinnovationen ist ein möglichst dauerhafter, auf Kosten, Lieferfähigkeit und Qualität basierender Wettbewerbsvorteil am Markt. Dies ist um so wahrscheinlicher, je tiefgreifender neue Technologien in die werkseigenen Abläufe und Strukturen des Unternehmens eingreifen und somit unternehmensspezifische Verbesserungen bewirken, die nur schwer kopierbar sind [43]. Sie werden sichtbar durch:

- Verbesserung von Leistungsmerkmalen der Produkte,
- Veränderung der Kostenstrukturen in den Bereichen der technischen Auftragsabwicklung,

- Verbesserung der Kundennähe durch höhere Reagibilität, verbesserte Termintreue und kürzere Gesamtdurchlaufzeiten.

Diese Zusammenhänge verdeutlichen die wesentliche Bedeutung des Operativen Fertigungscontrolling bei den Anstrengungen um den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit. Nach der Definition der Innovationsbereiche stellt sich die Frage nach einer Strukturierung der Innovationsmöglichkeiten.

3.1.2 Charakterisierung der Innovationsarten

Innovationen sind die "Werkzeuge" und die Ergebnisse des Operativen Fertigungscontrolling. Die Vielfalt an Innovationsvarianten läßt sich schwerpunktmäßig in fünf Sektoren untergliedern [126].

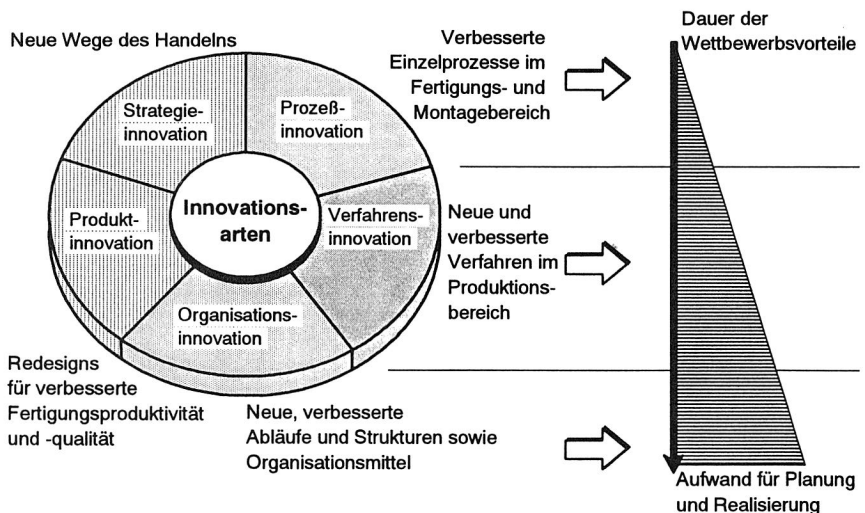


Bild 3.3: Struktur und Charakterisierung der Produktionsinnovationen

Prozeßinnovation

Im Rahmen der Prozeßinnovationen wird die Optimierung singulärer Arbeitsschritte angestrebt. Über den Kauf von Turn-Key Systemen sind gegenüber der momentanen Situation Verbesserungen erzielbar. Jedoch sind damit nur schwer dauerhafte Wettbewerbsvorteile zu erreichen. Es muß davon ausgegangen werden, daß die Anlagen vom Hersteller - als Träger des technischen Fortschrittes - in der gesamten Branche angeboten werden. Ausnahmen können hier Eigenentwicklungen oder käufliche Technologien mit hohen Anforderungen an die Unternehmensressourcen (z. B. Kapital, Personalqualifikation, etc.) sein [129]. Die primäre Zielrichtung

der Prozeßinnovation ist es daher, Schwachstellen aufgrund von Kapazitätsengpässen oder Qualitätsmängeln zu beseitigen.

Verfahrensinnovation

Durch die Verbesserung ganzer Verfahrensketten, informations- oder prozeßtechnischer Art, sind Leistungskriterien gegenüber Wettbewerbern nachhaltig zu beeinflussen. Verfahrensinnovationen ziehen größere Bereiche in die Planung mit ein und ermöglichen damit eine Breitenwirkung, wie sie durch die Optimierung singulärer Prozesse nicht möglich ist [57].

Organisationsinnovation

Unter Organisationsinnovation sind unternehmensbezogen optimierte, produktionsüberspannende Abläufe und Strukturen zu zählen. Hierunter fallen auch Schulungs- und Qualifizierungsmaßnahmen, die es gestatten den Mitarbeitern größere Entscheidungsspielräume zu überlassen.

Produktinnovation

Veränderungen in der Produktgestalt der Varianten zielen, hinsichtlich der Fertigung, auf Produktivitäts- und Qualitätsvorteile ab. Damit können beispielsweise Bearbeitungsanforderungen entschärft oder übergreifend die Bauelementevielfalt reduziert werden.

Strategieinnovation

Hierunter werden neue Wege des Handelns verstanden. Beispiel ist die in der vorliegenden Arbeit vorgeschlagene Änderung des Optimierungsobjekts im Fertigungsbereich. Anstatt Betriebsmittel oder Fertigungsabteilungen sollen Fertigungsaufträge und deren detaillierte, abteilungsüberspannende Bearbeitungsabläufe im Zentrum der Optimierungsbestrebungen stehen.

Innovationen in den einzelnen Sparten können meist nicht isoliert durchgeführt werden. Es sind hier starke Wechselbeziehungen vorhanden (z. B. Produktinnovationen bedingen neue Fertigungstechnologien).

3.1.3 Meßkriterien für Produktionsinnovationen

In der Produktion sind Innovation und beabsichtigte Optimierung untrennbar miteinander verknüpft. Meßkriterien für die Innovations- und die Produktionsleistung sind damit deckungsgleich und geben Aufschluß über die Anpassungserfolge an geänderte Randbedingungen.

Gerade für die Elektronik mit dynamischer Veränderungsrate ist die Meßbarkeit von Innovationsleistung wichtig, da diese Situationsbeurteilung die Bewältigung und Vorbereitung momentaner und zukünftiger Anforderungen ausdrückt. Sie stellen damit eine geeignete Beurteilungsmöglichkeit für die Wirksamkeit des Operativen Controlling in seiner Gesamtheit dar.

		Innovationsart	Meßkriterium für Innovationsleistung
Produktionsinnovationen	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> Prozeßinnovation Verfahrensinnovation Organisationsinnovation </div>		Veränderung der Fertigungsqualität und der Durchsatzleistung
			Veränderung der Produktionsproduktivität
			Veränderung der Personalproduktivität
	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> Produktinnovation </div>		Menge der Redesignvorgänge aufgrund Qualitäts-Produktivitätsvorteile in der Fertigung Anteil neuer Produkte am Gesamtumsatz
		Strategieinnovation	Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit durch die Erschließung neuer Geschäfts- und Erfolgspotentiale

Bild 3.4: Beispielhafte Meßkriterien für die Innovationsleistung [126]

3.2 Prinzipablauf und Problemfelder beim Operativen Fertigungscontrolling

Im folgenden wird die heutige Vorgehensweise den Randbedingungen aus der Situationsanalyse gegenübergestellt und die sich ergebenden Defizite aufgezeigt.

3.2.1 Prinzipablauf und Randbedingungen

Das Operative Fertigungscontrolling ist, in seiner heutigen Form, stark betriebswirtschaftlich orientiert. Kostenstellen-, Leistungs-, und Ergebnisrechnung bilden wesentliche Informationsquellen. Mit Hilfe der Kostenanalyse und der Untersuchung von Plan-Ist-Abweichungen werden monetäre Zielgrößen und hochverdichtete Leistungsvorgaben für die einzelnen Fertigungsbereiche gebildet. Diese Zielvorgaben sind von den Abteilungen durch entsprechende Maßnahmen umzusetzen [47, 119].

Damit setzt das Operative Fertigungscontrolling auf den Ergebnissen des klassischen Rechnungswesen auf, profitiert von dessen ausgereiften Werkzeugen und Methoden, nimmt aber eine starre Periodizität, dessen sektorale Ausrichtung sowie einen hohen Informationsverdichtungsgrad in Kauf. Mit diesen Kosteninformationen wird versucht Schwachstellen und mögliche Ursachen zu erkennen [92].

Die Ergebnisse werden den Funktionsbereichen der Produktion in Form betriebswirtschaftlicher, logistischer oder qualitätsbezogener Zielgrößen vorgegeben. Sie

betreffen beispielsweise Kosten für Umlaufbestand, Ausschuß, Termintreue, Personaleinsatz oder Kapazitätsnutzung [45] (vgl. Abb. 3.5 u. 4.1). Analog zum Informationsverdichtungsgrad im Rechnungswesen sind diese Vorgaben auf Teile des Produktspektrums oder auf Kostenstellen bezogene Durchschnittswerte mit aus der Periodizität resultierendem Vergangenheitscharakter.

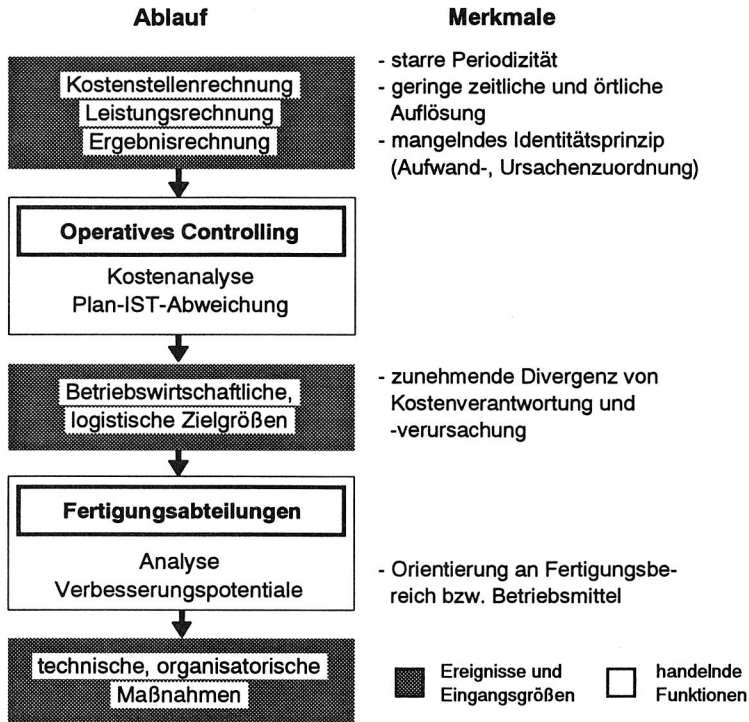


Bild 3.5: Abstrahierter Ablauf des heutigen Operativen Fertigungscontrolling

In Verbindung mit der bereichs- und betriebsmittelbezogenen Leistungsmessung in den Fertigungskostenstellen ergibt sich heute ein Regelkreis zur Optimierung der Fertigungsbereiche der durch folgende Merkmale charakterisiert ist.

- Die Zielgrößen bestehen aus sektoralen Leistungskriterien.
- Die Regelstrecke (Fertigungskostenstelle) und die Stellglieder (Abteilungsführung) sind Elemente einer gemeinsamen organisatorischen Funktionseinheit. Diese wird weitgehend isoliert betrachtet.
- Die Regeleinrichtung (Operatives Controlling) mißt Abweichungen der

Leistungswerte von den Zielvorstellungen und gibt Korrekturvorgaben (Ziele, Maßnahmen) an die Abteilungsleitung weiter.

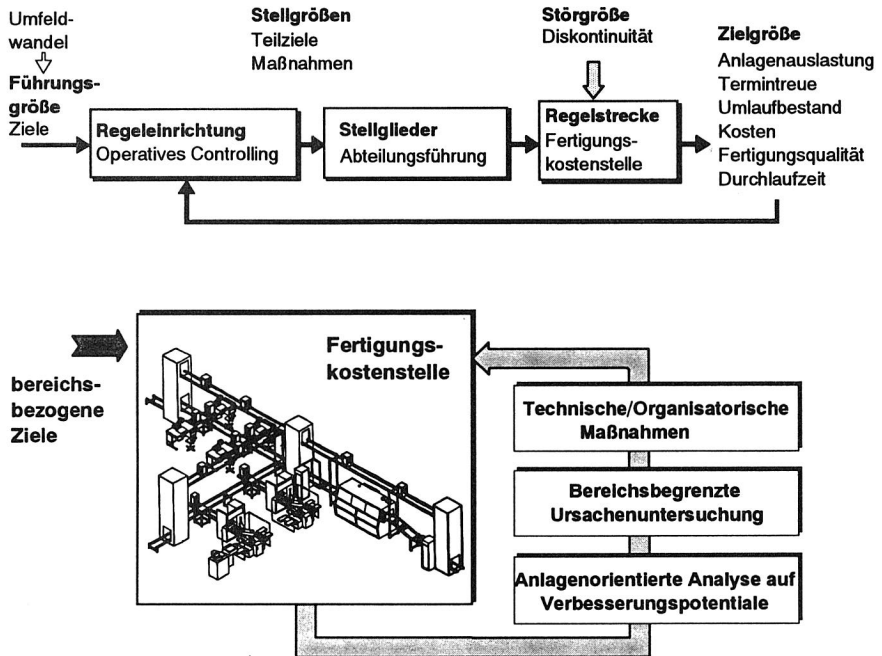


Bild 3.6: Konventioneller, bereichsbezogener Regelkreis der Fertigungs- und Kostenoptimierung

Die bereichsbezogene Analyse auf Verbesserungspotentiale und deren Einflussgrößen zur Umsetzung der Zielvorgaben ist den Fertigungsabteilungen überlassen [64, 105]. Problematisch ist in diesem Zusammenhang die Divergenz von Leistungsverursachung und -verantwortung. Das heißt, die Ursachen für zu verringernden Aufwand in der betrachteten Fertigungskostenstelle sind dort nur zu einem geringen Anteil originär begründet. Die dort definierten technischen und organisatorischen Maßnahmen können so nur zu einem Teilerfolg führen (vgl. Abb. 2.10 u. 2.16).

3.2.2 Defizite der sektoralen Vorgehensweise

Kernursachen für eine verminderte Effizienz des Operativen Fertigungscontrolling sind in der verschärften Dynamik des Umweltwandels und in der zunehmenden Automatisierung der Fertigung bei gleichzeitiger Orientierung am periodischen

Rechnungswesen zu sehen. Dies führt zu:

- einer Verringerung des Anteils ausschöpfbarer Verbesserungspotentiale,
- zur Bildung von kostenstellenbezogenen Suboptima sowie
- zur verminderten Entscheidungssicherheit bei Zielvorgaben und Maßnahmen.

Die Orientierung am klassischen Rechnungswesen hat periodische, meist jährliche Handlungsanstöße zur Folge. Wie in der Situationsanalyse gezeigt, ergeben sich Verbesserungspotentiale aber zunehmend aus einem direkten Problembezug im Gesamtablauf, die durch den hohen Verdichtungsgrad und die Periodizität des Rechnungswesens nicht gesichert erkannt werden können. Einige Autoren fordern daher die stärkere Einbeziehung technischer und ablauforganisatorischer Kriterien zur Bewerkstelligung eines erhöhten Problembezuges. Jedoch wird ein fehlendes Konzept allgemein bemängelt [119].

Die durch Produktivitäts- und Qualitätsanforderungen bedingte Automatisierung im Fertigungsbereich hat das in der Situationsanalyse geschilderte Auseinanderdriften von Verantwortung und Verursachung der Leistungsattribute "Zeit, Kosten, und Qualität" zur Folge. Diese **Verantwortungsdivergenz** degradiert die Fertigung zunehmend zur Ausführungsinstanz der Planungs- und Steuerungsfunktionen mit abnehmenden Selbstbestimmungsmöglichkeiten, aber mit ausgeprägter Verursachung der Leistungswerte und Kosten.

Mit der Vorgabe kostenstellenorientierter, stark betriebswirtschaftlicher Zielsetzungen an die Fertigungsbereiche sind dementsprechend nur Teile des gesamten Verbesserungspotentials ausschöpfbar. Die von den Planungsbereichen und anderen Fertigungsabteilungen herrührenden Einflüsse auf das Verbesserungspotential können nicht gesichert berücksichtigt werden.

Die Ursache hierfür ist darin zu sehen, daß die Verantwortung für bemängelte Leistungswerte in der Fertigung, den Steuerungs- und Planungsfunktionen meist nicht zuweisbar sind. In vielen Fällen werden die in anderen Abteilungen bestimmten Umstände, die im betrachteten Fertigungssegment zu ungünstigen Leistungsausprägungen führen, als gegeben oder unvermeidbar angesehen und so als Verbesserungspotential mit segmentexterner Verantwortung nicht erkannt.

Dieses Problem ist neben abteilungsbezogenem Optimierungsdenken in erster Linie auf die **Bezugsobjektdifferenz** zwischen den Fertigungsbereichen und den Planungsfunktionen zurückzuführen. Während in der Produktgestaltung und in der Produktionssteuerung produkt- bzw. auftragsbezogen geplant wird, erfolgt in der Fertigung eine bereichs- und betriebsmittelbezogene Leistungsmessung. Dieser Bruch im Gesamtablauf der technischen Auftragsabwicklung behindert eine ganz-

heitliche Betrachtungsweise des Auftrags- und Produktdurchlaufs. Insbesondere in den variantenreichen, technologieintensiven Werkstattfertigungen der Elektronikbranche wird dadurch eine gesicherte Zusammenführung von Planungsergebnissen und deren Auswirkungen in der Fertigung verhindert.

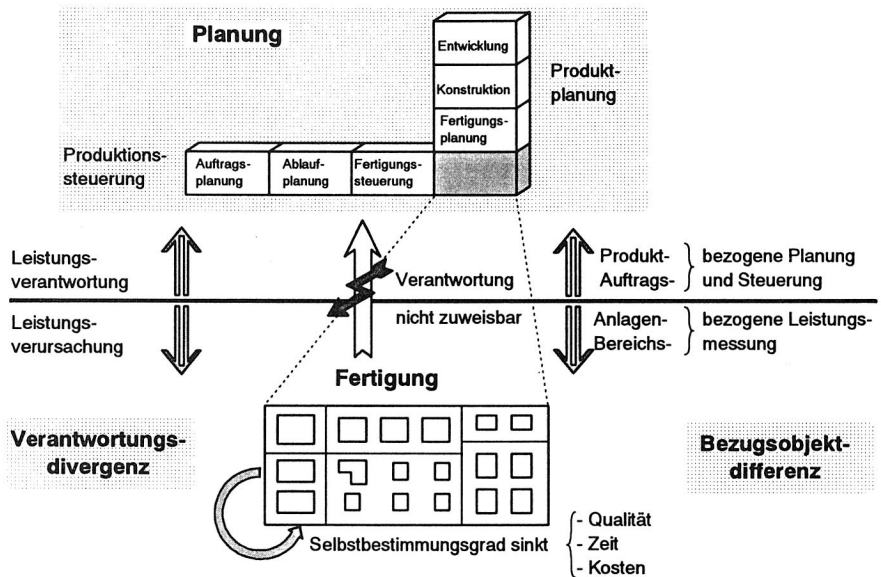


Bild 3.7: Haupteinflussfaktoren für eine verminderte Effizienz der sektoralen Vorgehensweise bei der Fertigungsoptimierung

Für die Optimierungsplanung ist die sektorale Leistungsmessung nicht mehr ausreichend. Die Gründe finden sich in der zunehmenden Komplexität der Fertigung sowie in den begrenzenden Eigenschaften der sektoralen Vorgehensweise. Folgende restriktive Eigenschaften der sektoralen Methodik tragen dazu bei:

- Die Lokalisierung der Problemstellen ist, aufgrund der variantenneutralen Datengrundlage, nur systembezogen auf Betriebsmittel und Bereiche möglich. Ein hoher Verdichtungsgrad bei den Leistungsdaten verringert die Eingrenzbarkeit zusätzlich.
- Im Rahmen der Ursachenanalyse ist mangelnder Produktbezug der Grund für die hohe Unsicherheit bei der Verantwortungszuweisung über die unmittelbare Umgebung des Problemauftritts hinaus.
- Die Periodizität, insbesondere bei Kosten, widerspricht der Forderung nach kontinuierlicher Verbesserung und behindert einen konkreten Problembezug.

- Die mit der bereichsorientierten Leistungsmessung verbundene, systemorientierte Optimierung ist vielfältigen Zielkonflikten (vgl. Abb. 4.1) ausgesetzt.

Die betriebswirtschaftliche Zielvorgabe an die Fertigung basiert auf hochverdichteten Leistungsdaten und hat damit keinen technisch-organisatorischen Ursachenbezug [88]. Die Analyse der Einflußgrößen ist der Fertigung überlassen. Mit hohem manuellen Aufwand werden dort Ursachenuntersuchungen durchgeführt, die auf anlagen- und bereichsbezogenen Theorien basieren [87, 92, 116, 124, 125]. Die gemessenen Leistungsattribute sind gekennzeichnet durch eine geringe Auflösung hinsichtlich Zeit, Ort und Produkt, wodurch eine Ursachenanalyse nur pauschaliert und nicht gesichert möglich ist (vgl. Abb. 3.8).

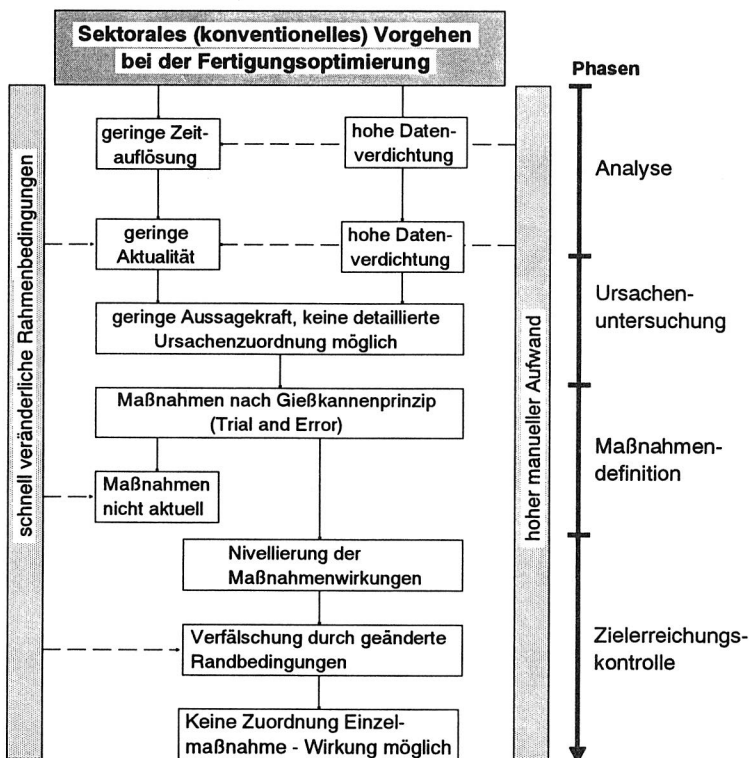


Bild 3.8 Problemkette bei der konventionellen, sektoralen Fertigungsoptimierung

Angesichts der dargelegten Problematik bei der Fertigungsoptimierung sind zur Steigerung der Entscheidungssicherheit und zur Ausschöpfung ganzheitlicher

Verbesserungspotentiale mit fertigungsübergreifendem Maßnahmenansatz folgende Forderungen zu postulieren:

- Abkehr von der periodisch angestoßenen Optimierungsaktivität und Hinwendung zu einer kontinuierlichen, bedarfsgesteuerten Vorgehensweise
- Minimierung des operativen Aufwands für die Analyse, die Lokalisierung der Problemstellen und die Ursachenuntersuchung
- Aufhebung der Bezugsobjektdifferenz durch eine auftragsbezogene Leistungsmessung in der Fertigung für eine gesicherte Verantwortungszuweisung über einzelne Fertigungsabteilungen hinaus
- Optimierung der Leistungswerte im abteilungsübergreifenden Bearbeitungsablauf des Fertigungsauftrags, anstatt singulärer Betriebsmittel und Abteilungen



Bild 3.9: Defizite der konventionellen Fertigungsoptimierung und Forderungen

3.3 Neue, produktbezogene Strategie und Methodik für das Operative Fertigungscontrolling

Die im vorangegangenen Abschnitt dargelegten, sich im Zuge dynamisch fortschreitender Entwicklung verschärfenden Defizite verdeutlichen die Leistungsgrenzen der heutigen sektoralen Methodik. Im folgenden wird eine produktbezogene Strategie erarbeitet, die sich an den postulierten Forderungen orientiert.

3.3.1 Strategie der Optimierung produktbezogener Bearbeitungsabläufe

Wesentlich für die Ausschöpfung ganzheitlicher Verbesserungspotentiale sind:

- konkreter Problembezug durch detaillierte Problemlokalisierung
- Kenntnis der Einflußgrößen (Ursachen) über Abteilungsgrenzen hinaus
- verantwortungsgerechte Ziel- und Maßnahmenvorgabe an beteiligte Funktionsbereiche.

Zielinhalte und -bezug müssen dabei so herausgearbeitet werden, daß sie von den betroffenen Bereichen erfüllt werden können. Das heißt, die Vorgaben müssen die, von den Abteilungen zu verantwortenden Leistungsmerkmale im problemverursachenden Fertigungsbereich berücksichtigen (Identitätsprinzip). Die Maßnahmen- und Zieldefinition ist i.d.R. nicht auf einzelne Fertigungsabteilungen beschränkt, sondern erstreckt sich auf die gesamte Technische Auftragsabwicklung.

Die bereichs- und anlagenbezogene Leistungsmessung in der Fertigung ist diesbezüglich nur sehr bedingt geeignet. Die bereichsbezogene Bewertung der IST-Situation (z.B. Auslastung, Bestände, Fertigungsqualität, Termintreue, Kosten, etc.) und eine grobe Problemlokalisierung auf Betriebsmittel bzw. Abteilungen ist zwar durchführbar, die gesicherte Ursachenermittlung ist jedoch aufgrund der variantenneutralen Datengrundlage auf das unmittelbare Umfeld der Anlagen, bzw. auf die Kostenstelle beschränkt. Ein konkreter Problembezug ist aber nur durch detaillierte Problemlokalisierung auf Aufträge und Arbeitsgänge herzustellen.

Optimierung der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe als zentrales Ziel

Sollwerte wie Qualität, Zeitverbrauch und Kosten werden an das Produkt bzw. den Fertigungsauftrag gestellt. Der Werteverbrauch im Bearbeitungsablauf¹ des Auftrags muß daher Untersuchungsgegenstand und Bewertungsmaßstab für Abweichungsanalysen sein. Der Fertigungsauftrag stellt die Verbindung zu anderen Fertigungsabteilungen und zu den Planungs- und Steuerungsbereichen dar. Die Summe über alle Aufträge pro Periode eignet sich als Beurteilung der Fertigungseffizienz im Gesamten und knüpft damit an die Ergebnisse heutiger Meßmethoden an.

Die Überwindung der Bezugsobjektdifferenz ist demzufolge wichtigstes Handlungsziel und führt zu einer produkt-/auftragsbezogenen² Betrachtungsweise bei der Analyse und Bewertung der Fertigung. Dies ermöglicht

¹ Der Sammelbegriff "Bearbeitungsablauf" repräsentiert hier den Verbrauch der Werte wie Zeit, Stückzahl/Ausschuß, Terminverschiebungen und Kosten in Abhängigkeit vom detaillierten Bearbeitungsstand der einzelnen Fertigungsaufträge.

² Hierunter wird der Herstellungsablauf der kleinsten in der Fertigung zirkulierenden Produkteinheit verstanden. In der Regel ist dies ein Los oder ein Fertigungsauftrag.

- die detaillierte Detektion und Lokalisierung von Verbesserungspotentialen in den Leistungswerten (Zeit, Qualität, Kosten) der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe in der Fertigung,
- die Loslösung von der funktionalen Gliederung der Aufbauorganisation im Fertigungsbereich,
- die gesicherte, problembezogene Ursachenuntersuchung und zielgerichtete Verantwortungs-rückführung in die Planung/Produktionssteuerung/Fertigung durch Produktbezug,
- die Reduktion der Zielvielfalt, -wechselwirkungen und -konkurrenzen und die Verringerung der Anzahl zu erfassender Kriterien (vgl. Abb. 4.1) sowie
- die direkte Vergleichbarkeit der IST-Situation mit den Marktanforderungen.

Die Analyse und Bewertung von Bearbeitungsabläufen der Fertigungsaufträge in ihrem Werteverbrauch gestattet, übergreifend und unabhängig von der Kostenstellenorganisation, die detaillierte Problemlokalisierung hinsichtlich betroffener Aufträge und Arbeitsgänge. Ursachen können somit durch das Bindeglied "Auftrag/Produkt" über den Ort des lokalisierten Problems hinaus ermittelt werden. Problembezogene und damit zielgerichtete Maßnahmen zur Behebung festgestellter Haupteinflüsse setzen nun im Fertigungs- und im Planungsbereich an.

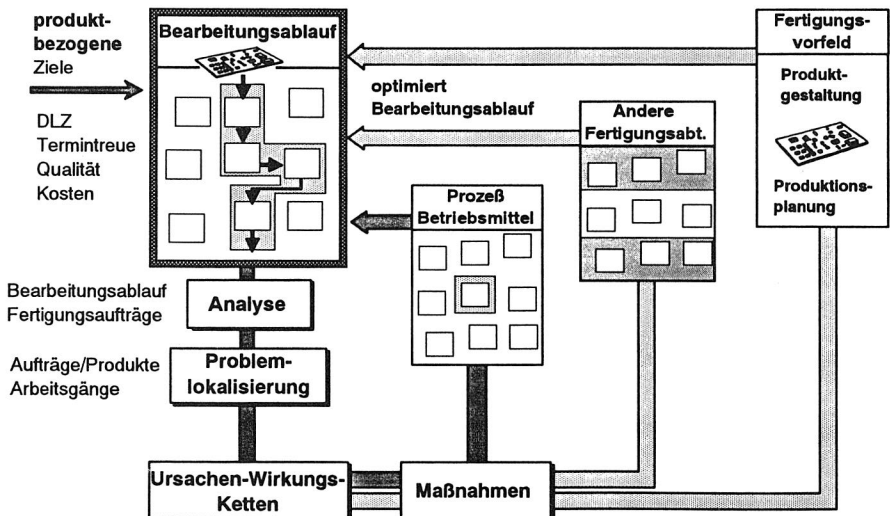


Bild 3.10 Der Bearbeitungsablauf der Fertigungsaufträge im Zentrum ganzheitlicher Optimierungsbestrebungen

Mit der Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen aus den Problemstellen im Bearbeitungsablauf wird gewährleistet, daß maßnahmenbedingte Veränderungen am Fertigungssystem und im Planungssektor konform sind mit den Anforderungen an den Bearbeitungsablauf der Fertigungsaufträge. Diese Vorgehensweise erfüllt damit eine wichtige Anforderung gegenüber der konventionellen, sektoralen Methodik, bei der infolge betriebsmittelbezogener Analyse- und Bewertungsmethoden keine zuverlässigen Aussagen über die Auswirkungen von Optimierungsmaßnahmen (z.B. an Betriebsmitteln) auf den gesamtheitlichen Bearbeitungsablauf der Aufträge möglich sind.

Damit steht die Analyse und Optimierung der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe im Vordergrund. Durch den problemorientierten, zielgerichteten Maßnahmenansatz und der Tatsache, daß sich der Werteverbrauch der Fertigungsaufträge aus der gesamtheitlichen Fertigungsleistung ergibt, kann davon ausgegangen werden, daß bei günstigen Bearbeitungsabläufen die heutigen, sektoralen Leistungswerte der Fertigungsabteilungen und Betriebsmittel in Summe ebenfalls zufriedenstellende Werte aufweisen³.

Gestaltung produktbezogener Bearbeitungsabläufe als grundlegende Planungsaufgabe

Die Gestaltung und Optimierung von produktbezogenen Bearbeitungsabläufen ist heute eine grundlegende Planungs- und Regelungsaufgabe im lang- und kurzfristig wirkenden Bereich. Bei der Projektierung von neuen Produktionssystemen werden bereinigte, produktbezogene Plandaten aller Varianten zur Gestaltung optimaler Bearbeitungsvorgänge eingesetzt [2].

Die Regelung eines einzelnen Auftrags im Fertigungsdurchlauf - beispielsweise die Qualitätsregelung über mehrere Prozesse - stellt die kurzfristige Ebene bei der Optimierung von Bearbeitungsabläufen dar [31]. Der Wirkungszeitraum beschränkt sich hier auf die Auftragsdurchlaufzeit. Der Regelkreis erstreckt sich auf eine Bearbeitungssequenz, womit die Zyklenzahl entsprechend der Auftragszahl zunimmt.

Die hier vorgestellte Optimierung auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe in der Fertigung ist im mittelfristigen Bereich angesiedelt und schließt damit eine Lücke bei der zielgerichteten Gestaltung von Bearbeitungsabläufen. Für Auftragsproduzenten mit mittleren bis kleinen Stückzahlen und mit einem breitgestreuten Produkt- und Variantenspektrum steht die schrittweise Optimierung und Anpassung bestehender Fertigungen im Vordergrund. Aufgrund der hohen Variantenzahl wird die Fertigung auf die Hauptprodukte ausgerichtet. Die zeitliche Wirkung ist als mittelfristig anzusehen und entspricht der Zeitdauer in der die Zusammensetzung der Hauptprodukte sowie die Technologiebasis erhalten bleibt. Die Variantenvielfalt bedingt eine

³ Im folgenden wird daher die Optimierung von Bearbeitungsabläufen der Fertigungsaufträge mit der Optimierung der Fertigung gleichgesetzt.

besonders hohe Anfälligkeit hinsichtlich der Dynamik der Randbedingungen. Dementsprechend sind mit Zunahme des Umfeldwandels und der Fertigungskomplexität häufigere, aktive Optimierungszyklen erforderlich.

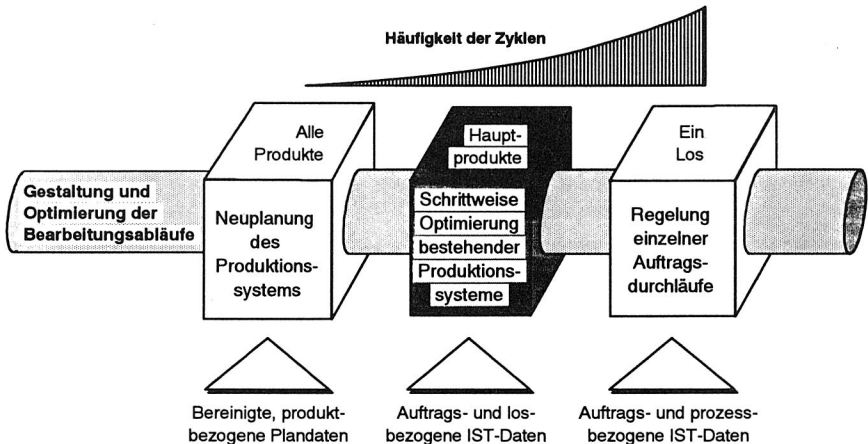


Bild 3.11: Gestaltung und Optimierung auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe als grundlegende Planungs- und Regelungsaufgabe

Regelkreis zur Optimierung der Bearbeitungsabläufe der Fertigungsaufträge

Mit den vorhergehenden Ausführungen wird die Notwendigkeit eines effizienten Regelkreises zur Optimierung der Bearbeitungsabläufe in der Fertigung mit gesicherter Verantwortungszuweisung an die Einfluß nehmenden Funktionsbereiche deutlich und durchführbar (vgl. Abb. 3.12 u. 3.14).

Die Aufgabenstellung lautet:

Den Bearbeitungsabläufen der einzelnen Aufträge (Zielgröße) in der Fertigung (Regelstrecke) ist durch die Planungs- und Fertigungsbereiche (Stellglieder) ein Sollverhalten aufzuprägen und zwar gegen den Einfluß der umfeldbedingen, nur unvollständig bekannten Diskontinuität (Störgröße).

Mit dieser Aufgabe verbindet sich die Fragestellung, wie dieses dynamische System, dessen Verhaltensweise nur sehr ungenau vorhersehbar ist, gezielt beeinflusst werden kann. Der Bearbeitungsablauf, bezogen auf einen Fertigungsauftrag, stellt dessen Werteverbrauch im Verlauf der Bearbeitung in Abhängigkeit von den Arbeitsgängen dar. Wurde bisher die Fertigung als Regelstrecke global genannt, so wird mit detailliert betrachteter Zielgröße deutlich, daß die Regelungsaufgabe unter Einbezug der Planungs- und Fertigungsbereiche für jeden einzelnen Arbeitsgang in den Bearbeitungsabläufen der Fertigungsaufträge besteht (vgl. Abb. 3.13).

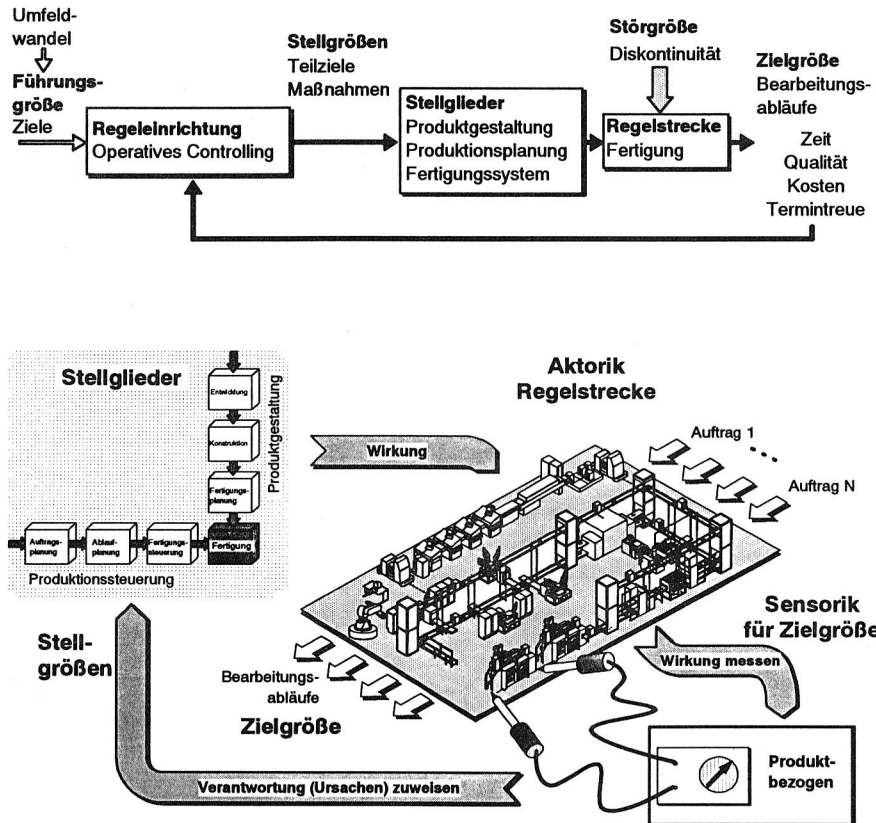


Bild 3.12 Regelkreis zur Optimierung der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe

Es ist daher notwendig, die auftragsbezogenen Leistungsergebnisse für jeden Arbeitsgang der Bearbeitungsabläufe zu ermitteln und einer Beurteilung auf Zielkongruenz zuzuführen. Zeigen die auftragsbezogenen Werte an einzelnen Arbeitsgängen systematisch unerwünschte Ausprägungen, so wird das Operative Fertigungscontrolling als Regeleinrichtung aktiv, ermittelt Ursachen sowie Ziele, bzw. Maßnahmen für Planungs- und Fertigungsbereich zur gezielten Veränderung des lokalisierten Problems. Das Ergebnis ist die Verbesserung der auftragsbezogenen Zielgrößen an diesen Arbeitsgängen.

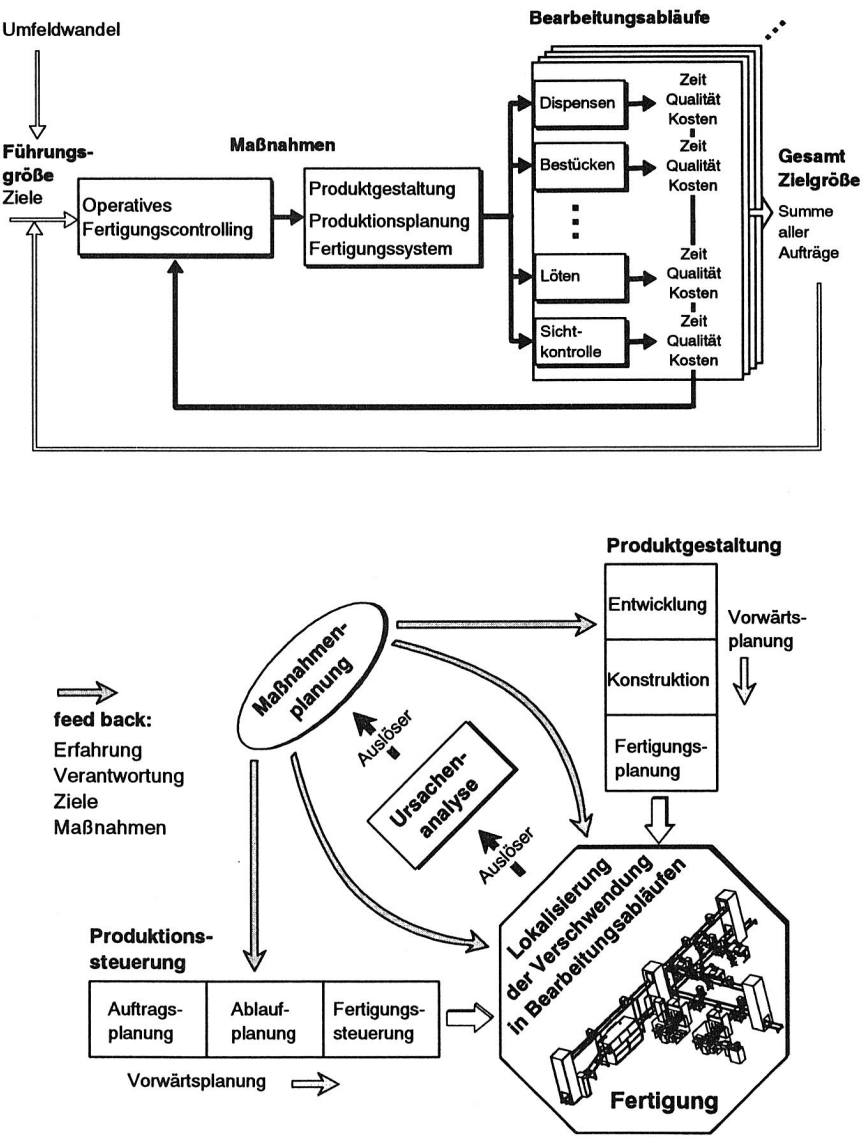


Bild 3.13: Schwachstellen in den Bearbeitungsabläufen der Fertigungsaufträge als Auslöser für aktive Optimierungszyklen

Schwachstellen im Bearbeitungsablauf der Aufträge als Auslöser für aktive Optimierungszyklen

Mit dieser Strategie besteht nun ein Pendant zur heutigen, unidirektionalen Vorwärtsplanung, die mit einer Einschränkung der Handlungsfreiheit nachfolgender Funktionsbereiche verbunden ist. Die Fertigung als letztes Glied in der Kette mit der höchsten Leistungsverursachung am Fertigungsauftrag ist Sammelpunkt der Planungsauswirkungen und hat demzufolge ein relativ geringes Maß an Aufwandsverantwortung für die Leistungswerte in den Bearbeitungsabläufen. Meßkriterien und Analysen sind dementsprechend an den auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufen in der Fertigung anzusetzen. Dort festgestellte Unregelmäßigkeiten werden, analog dem in der Steuerungstechnik verwendeten KANBAN-Prinzip, zu Auslöser für die Ursachenanalyse sowie für die Rückverfolgung der Verantwortung in die Planungsbereiche und in die Fertigungsabteilungen.

Dies entspricht einer Feed-Back Strategie, die geeignet ist Erfahrungen aus den auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufen zur Fehlerreduktion bzw. Erfolgswiederholung in der Planung, Disposition, Steuerung und Fertigung einzusetzen. Damit liegt der Funktion des Operativen Fertigungscontrolling ein fertigungsorientierter Ansatz mit übergreifender Einflußnahme zugrunde.

Hiermit sind nun kontinuierlich auftretende, bedarfsgesteuerte und von einer starren Periodizität losgelöste Optimierungszyklen gegeben. Ihre Funktion bedingt einen konkreten Problembezug und ermöglicht durch geeignete Lokalisierungsmethoden die produkt- und arbeitgangbezogene Eingrenzung der jeweils größten Optimierungspotentiale im gesamtheitlichen Bearbeitungsablauf der Fertigungsaufträge. Dies steht im vorteilhaften Gegensatz zur heutigen Vorgehensweise.

Prinzipablauf bei auftragsbezogener Vorgehensweise

In Anbetracht der Gesamtheit der Fertigungsaufträge führt dies zu folgendem Aufgabeninhalt für das Operative Fertigungscontrolling:

- Messung der auftragsbezogenen Leistungswerte in möglichst kleinen Inkrementen der Bearbeitungssequenz (z. B. Arbeitsgänge)
- Analyse und Abweichungsuntersuchung der Ausprägung auftragsbezogener Leistungswerte zur Lokalisierung von Problemstellen hinsichtlich Aufträgen und Arbeitsgängen
- Ermittlung der Haupteinflußfaktoren (Ursachen-Wirkungs-Netze) und Definition der Ziele und Maßnahmen

Dazu sind in die Methodik des Operativen Fertigungscontrolling als Regeleinrichtung vermehrt detaillierte Leistungsinformationen aus den Bearbeitungsabläufen einzu-

bringen. In Verbindung mit dieser auftragsbezogenen Betrachtungsweise zur Überwindung der Bezugsobjektdifferenz lässt sich die Verantwortung, für in der Fertigung verursachte Leistungswerte, den Funktionsbereichen der Technischen Auftragsabwicklung besser zuordnen. Daraus resultieren konkrete Problembezüge bei der Zielvorgabe und Maßnahmenausarbeitung. Die einzelnen Funktionsbereiche und Fertigungsabteilungen konzentrieren sich so auf die Umsetzung der technischen, organisatorischen Ziele und der Maßnahmen.

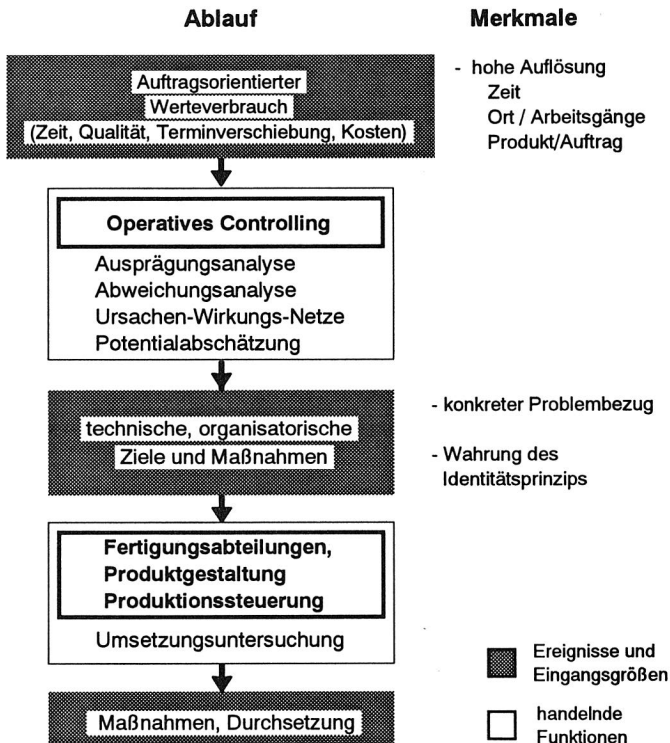


Bild 3.14: Produktbezogene Strategie für das Operative Fertigungscontrolling zur Optimierung der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe

Lösungsansatz zur Sollwertproblematik

Es besteht auch in gut organisierten Fertigungen Unklarheit darüber, welche Leistungswerte erzielt werden sollen und möglich sind. Die gesicherte Entscheidung ob und wo Handlungsbedarf zur optimierenden Veränderung gegeben ist, setzt geeignete Beurteilungskriterien hinsichtlich Positionierung und Veränderbarkeit eines

quantifizierten IST-Zustands voraus. Besondere Bedeutung in dem geschilderten Regelkreis hat die Fragestellung inwieweit die Leistungsfähigkeit des Produktionssystems ausgeschöpft, bzw. eine Steigerung möglich ist. Hierzu werden Kriterien benötigt, die eine Beeinflussbarkeit der an den Aufträgen gemessenen Leistungswerte ausdrückt.

Sektorale Leistungskriterien, wie Bestände oder betriebsmittelbezogener Ausschuß, eignen sich für die Beurteilung der bereichs- oder anlagenbezogenen Leistungsentwicklung, geben aber keine Anhaltspunkte ob, bzw. welches Verbesserungspotential hinsichtlich der Bearbeitungsabläufe vorhanden ist. Ein Lösungsansatz ist jedoch bei den Leistungswerten der Aufträge gegeben. Werden die, in der Fertigung am einzelnen Fertigungsauftrag erbrachten Leistungen näher betrachtet, so sind zwei Kategorien festzustellen.

- Leistungen die direkt mit dem physikalischen Produktaufbau in Verbindung stehen und für diesen zwingend erforderlich sind. Sie umfassen die einzelnen Prozesse wie beispielsweise Bestückung oder Verlötung und werden in der vorliegenden Arbeit als **"direkte Leistung"** bezeichnet⁴.
- Leistungen mit eher indirektem Charakter. Sie sind administrativer, disponierender, planender, qualitätssichernder oder logistischer Art und sichern damit die Erbringbarkeit direkter Leistung. Sie werden in dieser Arbeit als **"indirekte Leistung"** benannt⁵.

Die Charakterisierung dieser Leistungsarten zeigt, daß die direkten Leistungen durch Spezialisten in dedizierten Funktionsbereichen (z.B. Arbeitsplanung) projiziert werden, klassisch im Mittelpunkt des Ingenieurdenkens stehen und gut abgegrenzten Randbedingungen unterliegen. Sie weisen damit einen hohen Effizienzgrad bzw. ein verhältnismäßig geringes Optimierungspotential auf und sind für den Baugruppenaufbau weitgehend unverzichtbar. Im Gegensatz hierzu ergeben sich die indirekten Leistungen in hohem Maße aus dem Erfüllungsgrad der Querschnittsfunktionen. Sie sind insoweit veränder- und verzichtbar, als daß die Erbringung direkter Leistung sichergestellt ist.

Werden direkte und indirekte Leistungsmerkmale der Fertigungsaufträge quantifiziert und ins Verhältnis gesetzt, so steht ein Beurteilungskriterium zur Verfügung, das

- variantenbezogen orientiert ist,
- die Entfernung zum Optimum und damit Beeinflussbarkeit ausdrückt sowie
- über Zeitperioden und Aufträge hinweg vergleichbar ist.

⁴ In den Unternehmen auch als "wertsteigernd" im Sinne des Marktwerts bezeichnet [2].

⁵ In den Unternehmen auch als "nicht wertsteigernd" im Sinne des Marktwerts bezeichnet.

Ein Beispiel hierfür ist die "Prozeßdichte"⁶, die, über einen Ausschnitt des auftragsbezogenen Bearbeitungsablaufs gemessen, eine Effizienzaussage hinsichtlich der Logistik beinhaltet.

3.3.3 Auftragsbezogene Methodik des Operativen Fertigungscontrolling

Die in der Situationsanalyse dargelegte Komplexität der Elektronikfertigungen erfordert ein strukturiertes, mit den Anforderungen an den Produktdurchlauf abgestimmtes Vorgehen. Dies setzt ein kaskadiertes Auswahlverfahren, mit dem Ziel der schrittweisen Eingrenzung von Verbesserungspotentialen, Ursachen und geeigneten Maßnahmen, voraus. Vier Eingrenzungsvorgänge haben sich in industriellen Kooperationen als notwendig und praktikabel erwiesen:

- Grobe Schwerpunktsetzung
- Detaillierte Ausprägungsanalyse, Problemeingrenzung
- Aufstellung der Ursachen-Wirkungs-Netze
- Maßnahmenauswahl und -definition

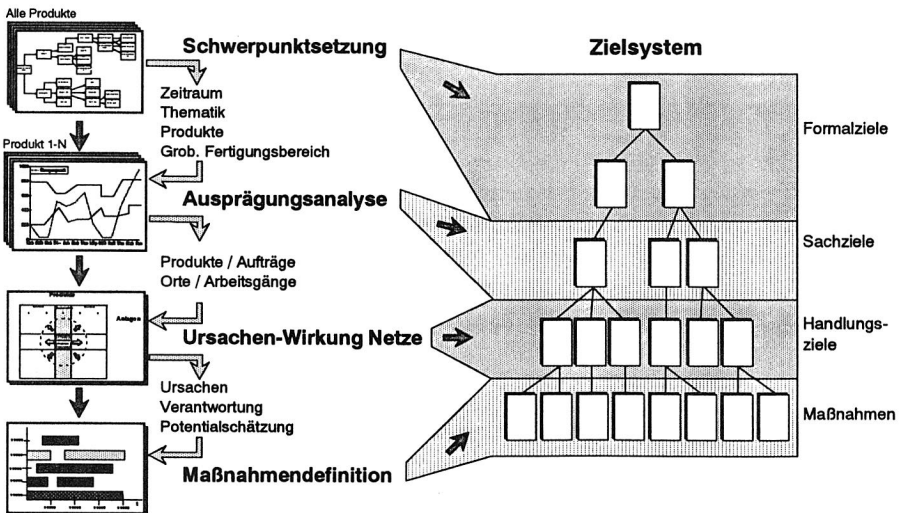


Bild 3.15 Auftragsbezogene Methodik des Operativen Fertigungscontrolling

Die Ergebnisse dieser Verfahrensschritte werden in ein hierarchisches Zielsystem mit direkten kausalen Beziehungen übertragen. Diese Vorgehensweise stellt einen

⁶ Prozeßdichte = Hauptzeit / Übergangszeit

Zielbildungsprozeß dar, wobei oberste Ausgangsziele festgelegt und Teilziele verschiedener Ordnung abgeleitet werden. Das Konzept des Zielsystems repräsentiert eine strukturierte Anordnung der für die Zukunft anzustrebenden Systemzustände und liefert damit Entscheidungsträgern Instrumente zur Lenkung und Steuerung ihres Handelns.

Das vorliegende Zielsystem bildet einen Problemkomplex im Fertigungsbereich ab und besteht aus den Ebenen der Formal⁷- und Sachziele. Aufgrund des einheitlich monetären Maßstabes der Formalziele lassen sich Zielkonkurrenzen (z.B. Qualitätsproblem versus Bestandsproblem) überwinden. In den Ebenen der Sachziele steht der konkrete Leistungsvollzug im Vordergrund. Sie betreffen die konkreten Probleme und die zur Bewältigung erforderlichen Handlungen und Maßnahmen. Unter Beachtung der Restriktionen durch gegebene Strukturen und Ressourcenpotentiale sind Sachziele die Basis der Alternativengewinnung.

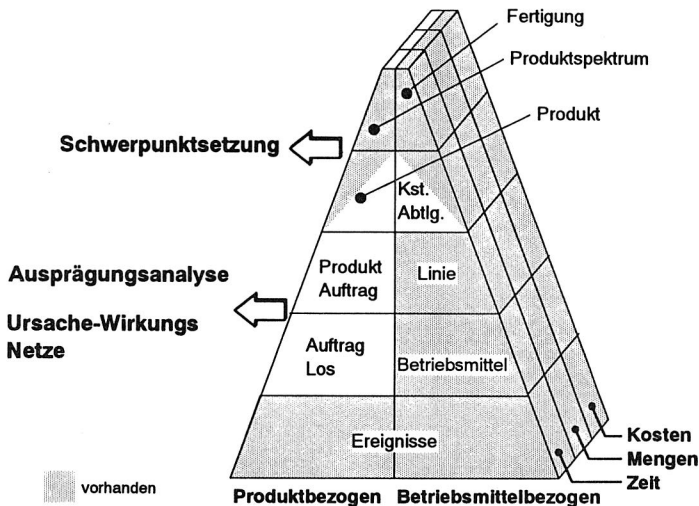


Bild 3.16 Informationsbedarf für die auftragsbezogene Analysemethodik

Die Strukturierung der Objekte des jeweiligen Zielsystems erfolgt beginnend von der Hierarchiespitze in Gestalt des obersten Formal- und Sachziels bis zur Basis. Diese retrograde Vorgehensweise legt, ausgehend von relativ groben Grundstrukturen, sukzessive Feinstrukturen frei, so daß sich die zu vermutende Vielzahl der vorhandenen Strukturen Schritt für Schritt erschließen. Zum einen korrespondiert diese Vorgehensweise mit der kognitiven Verständnisbildung des Analysierenden und zum

⁷ Formalziele beinhalten monetäre Aspekte

anderen unterstützt sie ein zielorientiertes, steuerbares Anwachsen des Informationsbestandes; die relevanten werden von den weniger relevanten Beziehungen separiert und somit in einer relativ frühen Untersuchungsphase extrahiert.

Die Abbildung 3.16 zeigt den prinzipiellen Informationsbedarf für die dargelegte Methodik. Bemerkenswert ist, daß weitgehend produkt- und auftragsbezogene Informationen benötigt werden.

Schwerpunktsetzung

In praktischen Untersuchungen hat sich gezeigt, daß die allgemeine Analyse der Fertigung auf Verbesserungspotentiale ohne grobe Zielsetzung, aufgrund der Informationsvielfalt, nicht zielführend ist. Im ersten Schritt ist daher durch Schwerpunktsetzung eine grobe Eingrenzung der Freiheitsgrade erforderlich. Ziel ist hierbei

- die Eruierung eines repräsentativen Untersuchungszeitraums,
- die Ermittlung der problembehafteten Thematik (z. B. Termintreue, Qualität)
- die Einschränkung des Produktspektrums auf die Hauptprodukte, die größtenteils daran beteiligt sind und
- die räumliche Eingrenzung der Fertigung auf größere Teilbereiche mit den höchsten Beiträgen zum betrachteten Problem.

Die erforderlichen Informationen zur Schwerpunktsetzung können aus verdichteten, auftragsbezogenen Leistungswerten entnommen werden. Die Ergebnisse gehen als Formalziele in die obersten Hierarchieebenen des Zielsystems ein.

Ausprägungsanalyse

Im Rahmen der Ausprägungsanalyse werden die Verbesserungspotentiale der betrachteten Thematik hinsichtlich der Fertigungsaufträge und Arbeitsgänge eingegrenzt. Ziel ist hierbei die Ermittlung systematisch auftretender, unerwünschter Ausprägungen der auftragsbezogenen Leistungswerte entsprechend der Schwerpunktsetzung und die Eingrenzung ihres Auftretens nach Ort, Zeit und Produkt. Diese Problemlokalisierung erfordert eine detaillierte Informationsgrundlage hinsichtlich der auftragsbezogenen Leistungswerte und geht als Ergebnis in die Sachziel-ebene ein.

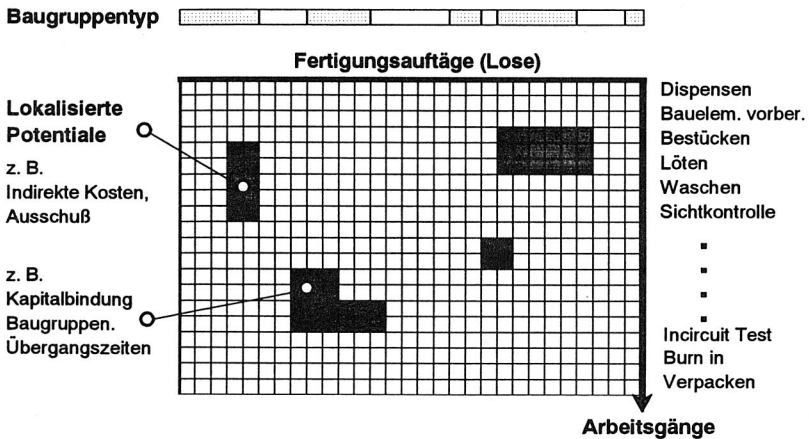


Bild 3.17 Detaillierte Problemlokalisierung im Rahmen der Ausprägungsanalyse

Ursachen-Wirkungs-Netze

Gemessen und lokalisiert wird eine Wirkung, die durch Produktionsplanung, Produktgestaltung und Fertigung am auftragsbezogenen Bearbeitungsablauf verursacht wurde. Die Aufgabe im Rahmen der Ursacheneingrenzung besteht in der Ermittlung der Einflußfaktoren, um schließlich zu Kernursachen zu gelangen, die durch Maßnahmen zu verändern sind.

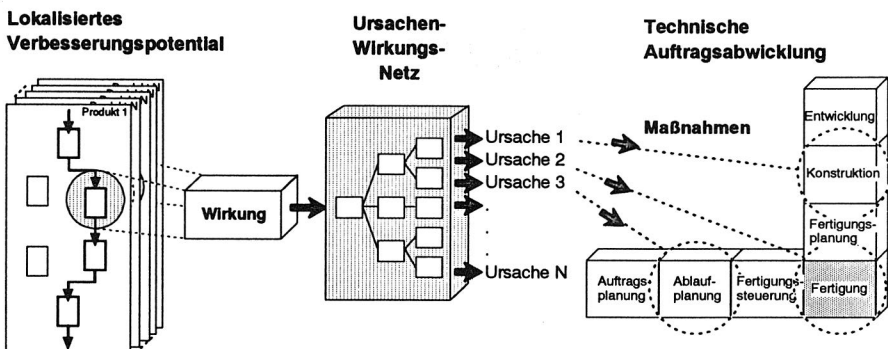


Bild 3.18 Ermittlung der Haupteinflußfaktoren ausgehend vom lokalisierten Verbesserungspotential

Entsprechend der komplexen Wechselwirkungen (vgl. Abb. 2.16) entstehen meist weitverzweigte Ursachen-Wirkungs-Netze. Ausgehend von dem beobachteten Ereignis (gemessene Wirkung) wird sukzessive auf die Kernursachen geschlossen. Dieser "Top-Down" Ansatz ermöglicht eine problemgerichtete Ursacheneingrenzung.

Die Orientierung bei der Ursachen-Wirkungs-Analyse erfolgt entlang der produktbezogenen Prozeßkette. Dadurch wird der Ursachenbezug sichergestellt und die Zuordnung zu den verantwortenden Funktionsbereichen gewährleistet. Eine Potentialabschätzung ermöglicht die Auswahl gravierender Ursachen. Damit ergeben sich die Handlungsziele für unterschiedliche Funktionsbereiche zur Veränderung der problembehafteten Leistungswerte an den ermittelten Arbeitsgängen in der produktbezogenen Prozeßkette.

Die Haupteinflußfaktoren, Ergebnis der Ermittlung von Kausalzusammenhängen, gehen als Handlungsziele in das Zielsystem ein. Basierend auf diesen Handlungszielen werden in Kooperation mit den Funktionsbereichen geeignete Maßnahmen entwickelt.

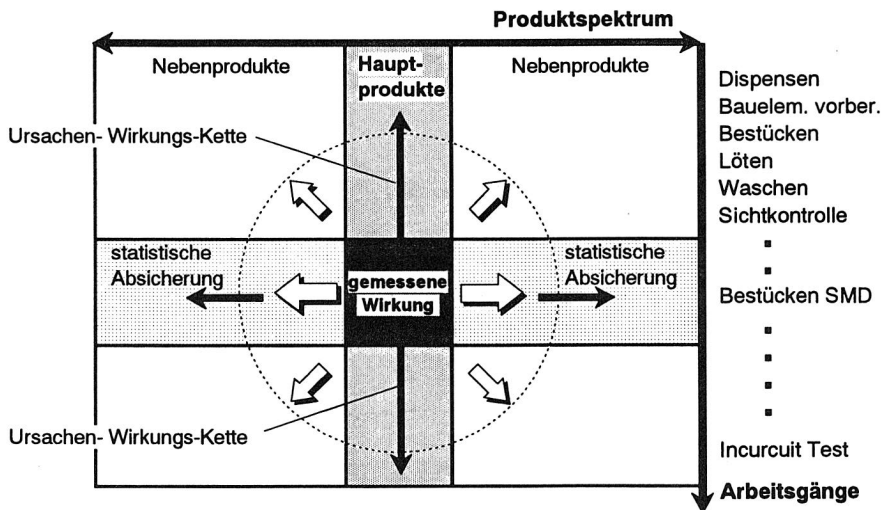


Bild 3.19 Absicherung von Problemstellen und Ursachen-Wirkungs-Analyse

3.3.4 Voraussetzungen für die Durchführbarkeit

Die Zielsetzung einen direkten Problembezug in der Informationsgrundlage des Operativen Fertigungscontrolling zu gewährleisten erfordert die auftragsbezogene Quantifizierung aller Fertigungsleistungen. Klassisch genügen der Steuerung und Führung einer Fertigung andere Voraussetzungen bezüglich der Datenverfügbarkeit als dies für die hier betrachteten aktiven Optimierungszyklen der Fall ist. Die Anforderungen an den Detaillierungsgrad und den Datenbezug der Informationen sind hier deutlich höher. Insbesondere bei der Ursacheneingrenzung genügen die heutigen, datentechnischen Randbedingungen nicht.

Der Erfassungs- und Verarbeitungsaufwand für auftragsbezogene Informationen ist hoch und manuell kaum zu bewältigen. Angesichts der geforderten Reaktionsfähigkeit einer kontinuierlichen Rationalisierungsstudie und der gewünschten Akzeptanz dieser Methodik ist der operative Aufwand und der Zeitbedarf stark zu senken.

Daraus ergeben sich folgende Voraussetzungen für die Durchführbarkeit der dargelegten Strategie und Methodik:

- Eine auftragsorientierte Quantifizierung des Werteverbrauchs im Bearbeitungsablauf mit der verursachungsgerechten Umlage aller Fertigungsleistungen auf die Aufträge.
- Ein rechnergestütztes Werkzeug zur automatisierten Verarbeitung der auftragsorientierten Fertigungsdaten im Sinne der auftragsbezogenen Analyse.

Im folgenden Abschnitt wird die Umlage der Fertigungsleistungen auf die Aufträge untersucht. Die Kapitel 5 und 6 beinhalten die Konzeption des geforderten Werkzeugs.

4. Synthese der Leistungselemente am Fertigungsauftrag

Alle Anstrengungen und Leistungen im Unternehmen zielen auf die Planung und Herstellung der Produkte. Sie führen insgesamt zum Werteverbrauch der Aufträge im Durchlauf der Technischen Auftragsabwicklung. Im Fertigungsbereich repräsentiert der Auftragsdurchlauf damit alle direkten und indirekten Leistungen entsprechend ihrer Effizienz. Mit der verursachungsgerechten und detaillierten Sichtbarmachung der Fertigungsleistungen im auftragsbezogenen Bearbeitungsablauf wird das Auftragsspektrum Ausgangspunkt zur Feststellung des Handlungsbedarfs für Verbesserungen und Maßnahmen.

Dieser Leitgedanke ist heute nur sehr bedingt nutzbar, da die Fertigungsleistungen primär bereichsbezogen gemessen werden. Die Erfassung auftragsbezogener Zeit- und Qualitätsdaten an einzelnen Betriebsmitteln erfolgt bislang nur in Einzelfällen, womit der tatsächliche Bearbeitungsablauf der Aufträge nur pauschal nachvollziehbar ist.

Hinsichtlich entstehender Kosten im Bearbeitungsablauf der einzelnen Aufträge zeigt sich demzufolge ein ähnlicher Sachverhalt. Die diesbezügliche Aussagekraft der Kostenträgerrechnung, direkt abhängig von detaillierter Erfassung und Verrechnung der betriebsmittelbezogenen Nutzungszeit sowie der auftragsbezogenen Rüst- und Bearbeitungszeiten, ist hierfür zu pauschal und zu wenig am tatsächlichen IST-Bearbeitungsablauf des einzelnen Auftrags orientiert.

Die klassischen Leistungsbemessungskriterien wie Maschinenlaufzeiten, Umlaufbestand oder Personaleinsatz sind auf Fertigungsbereiche bezogen und eignen sich für dessen Effizienzbewertung. Wie vorhergehend ausgeführt bieten sie jedoch keine geeigneten Ansatzpunkte zur detaillierten Problemlokalisierung, Ursachenermittlung und zur Lösung der Sollwertproblematik. Die Leistungsbewertung anhand der Auftragsdurchläufe überwindet die Bezugsobjektdifferenz zwischen Planung/Produktionssteuerung und Fertigung und erhöht somit den Ursachenbezug. Sie setzt die verursachungsgerechte Zuordnung der Leistungen im Fertigungsbereich zum Auftrag voraus.

4.1 Repräsentation der Verbesserungspotentiale im auftragsbezogenen Bearbeitungsablauf

In der ersten Stufe ist zu klären, welche Zielfelder im Fertigungsbereich existieren und dementsprechend im Auftragsdurchlauf nachvollziehbar sein müssen. Weiterhin ist der Nachweis zu erbringen ob diese Ziele im Auftragsdurchlauf prinzipiell sichtbar sein können.

Die Leistungsziele im Fertigungsbereich werden heute differenziert in die Themenbereiche Umlaufbestand, DLZ und Termintreue, Qualität, Ausschuß und Nacharbeit, Anlagenbewirtschaftung, Personalwirtschaft sowie Flächennutzung [124].

Die hier enthaltenen technischen und organisatorischen Leistungskriterien beschreiben die Fertigungsperformance vollständig. Sie sind gekennzeichnet durch eine hohe, wechselseitige Abhängigkeit und starke Gegenläufigkeit der Zielfelder (z. B. geringer Umlaufbestand, niedrige Durchlaufzeit versus hohe Betriebsmittelauslastung) [94, 106].

Die Ziele im auftragsbezogenen Bearbeitungsablauf, definiert durch die Zielfelder Zeitbedarf/Termintreue, Qualität/Ausschuß und Kosten, zeichnen sich durch eine verringerte Zielkonkurrenz aus [92]. Sie eignen sich daher für die thematische Schwerpunktsetzung im Rahmen der entwickelten, auftragsbezogenen Methodik.

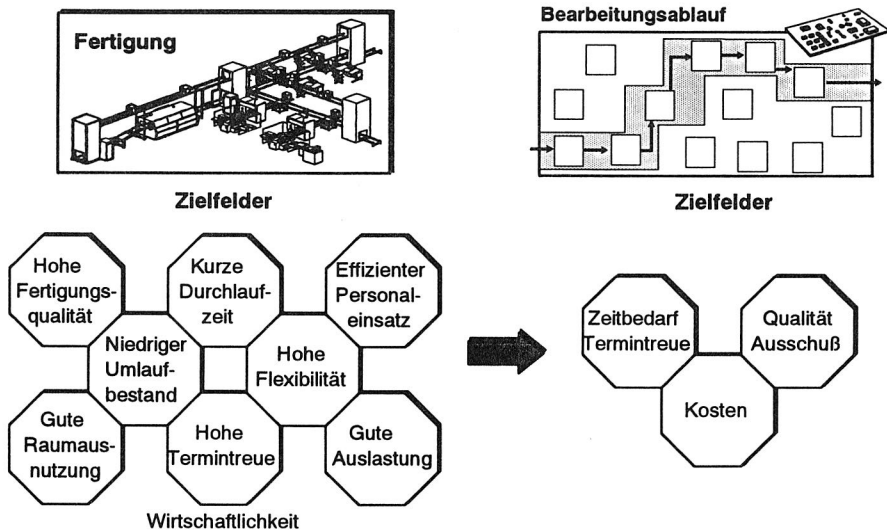


Bild 4.1: Minimierung der Zielvielfalt und -konkurrenzen durch Übergang auf den Bearbeitungsablauf der Aufträge als Bewertungsmaßstab

Die auftragsbezogene Schwachstellenanalyse setzt die Meßbarkeit der Bewertungsziele im Auftragsdurchlauf voraus. Daß die Voraussetzungen gegeben sind, wird am Beispiel des Wertsteigerungsverlaufs¹ eines Auftrages bei dessen Abarbeitung in der Fertigung verdeutlicht.

¹ Der Begriff "Wert" einer Baugruppe oder eines Fertigungsauftrags wird hier im Sinne der Herstellungskosten verstanden

In der Elektronikproduktion findet die Auftragsfreigabe nach Bereitstellung des benötigten Materials statt. Der Fertigungsauftrag beinhaltet daher bereits unmittelbar nach der Freigabe die gesamten Materialkosten. Der aktuelle Wert der Baugruppen eines Auftrags setzt sich demzufolge aus den Gesamtkosten für Material und dem aktuellen Wertsteigerungsgrad zusammen.

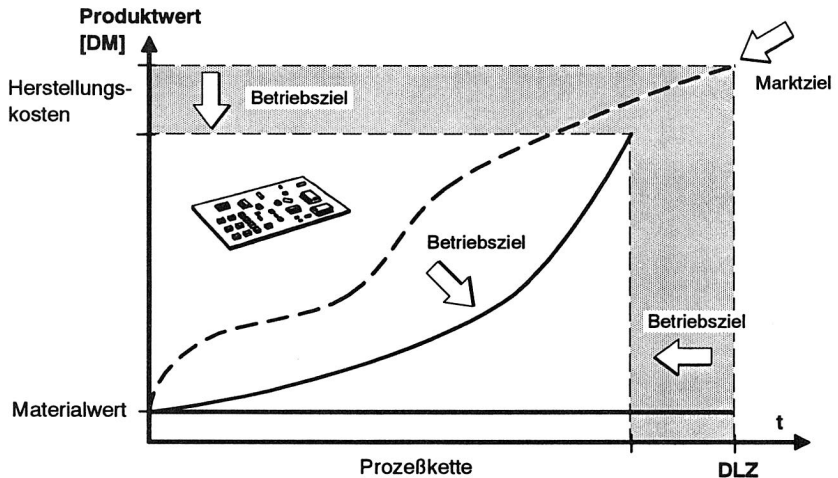


Bild 4.2: Ziele im Wertsteigerungsverlauf der Aufträge

Der Wertsteigerungsverlauf über die Durchlaufzeit des Auftrags stellt die höchste Verdichtungsebene der Fertigungsleistungen für einen Auftrag dar und lässt drei Freiheitsgrade zu:

- Variation der Durchlaufzeit
- Variation der Kosten
- Variation des Kurvenverlaufs

Diesen Freiheitsgraden entsprechen Zielrichtungen, die primär betrieblichen Ursprungs (Betriebsziele) sind oder direkt vom Kunden (Marktziele) gefordert werden. Diese auftragsbezogenen Ziele beinhalten die Zielfelder der Fertigung in ihren summierten Auswirkungen:

- Umlaufbestand, Durchlaufzeit

Die Kapitalbindung durch Umlaufbestand ergibt sich aus der Integration der Kurve über den Zeitbedarf. Veränderungen im Wertsteigerungsverlauf und bei der Durchlaufzeit wirken daher unmittelbar auf die Kosten.

- Qualität, Ausschuß und Nacharbeit

Verbesserte Fertigungsqualität hat eine effizientere Anlagenauslastung sowie verringerte Nacharbeit zur Folge und damit Einfluß auf die Durchlaufzeit und die Stückkosten.

- Anlagenbewirtschaftung

Veränderungen in der Anlagenauslastung wirken direkt auf die Stückkosten und die Durchlaufzeit.

- Personalwirtschaft

Der Personaleinsatz zeigt Analogien zur Anlagenbewirtschaftung.

- Flächen- und Raumnutzung

Aufwendungen für Räumlichkeiten belasten anteilig die Fixkostensätze der Anlagen und die Gemeinkosten der Fertigungsbereiche. Sie gehen daher direkt in die Kosten der Aufträge ein.

Damit wird deutlich, daß der quantifizierte Bearbeitungsablauf der Aufträge die Zielfelder der Fertigung repräsentiert. Die Gestaltung optimaler Bearbeitungsabläufe aller Fertigungsaufträge sichert damit die bestmögliche Zielerfüllung der Fertigung.

4.2 Zusammensetzung der Leistungselemente am Auftrag

Die wesentliche Voraussetzung für den wirkungsvollen Einsatz der produktbezogenen Strategie ist eine detaillierte und verursachungsgerechte Umlage aller Fertigungsleistungen auf die Aufträge als eigentliche Inanspruchnehmer.

Es wird hier nicht der Anspruch verfolgt ein neues Kostenrechnungssystem zu entwickeln. Vielmehr besteht die Intention darin, technische und organisatorische Fertigungsleistungen dem einzelnen Auftrag im Verlauf des Bearbeitungsablaufs zeitaktuell und arbeitgangbezogen, entsprechend der Inanspruchnahme zuzuordnen. Für den einzelnen Fertigungsauftrag sind dies detaillierte Zeitelemente und Stückzahlen, womit die heute vorherrschende Verdichtung und Periodizität aufgehoben wird.

Die technischen und organisatorischen Leistungskriterien werden in geeigneter Form monetär bewertet und sind so einer einheitlich finanziellen Vergleichbarkeit (z. B. für die Schwerpunktsetzung) zugänglich. Damit kann sich die Kostenrechnung in der vorliegenden Arbeit weitgehendst auf die Stückkosten- und Maschinenstundensatzrechnung, wie sie beispielsweise im Rahmen der Vorkalkulation durch die Arbeitsplanung durchgeführt wird, beschränken. Sie basiert hier jedoch auf aktuellen, detaillierten Rückmeldungen aus der Fertigung, liefert daher präzise Informationen über den IST-Zustand (z.B. Bearbeitungszeit) als Berechnungsgrundlage und repräsentiert alle eingetretenen, einschließlich der im Planungsstadium nicht vorhergesehenen Ereignisse.

Die monetären Aspekte dienen im wesentlichen:

- zur Potentialabschätzung,
- zur Vergleichbarkeit von Schwachstellen unterschiedlicher Thematik und Örtlichkeit sowie
- zur ganzheitlichen Meßbarkeit von Erfolg oder Mißerfolg getroffener Maßnahmen. Da diese zur zielgerichteten Verbesserung einzelner Leistungswerte im Bearbeitungsablauf andere mit beeinflussen ist eine Bilanzierung erforderlich. Am Beispiel der Optimierung der Durchlaufzeit zeigt sich, daß sie i.d.R. mit einer Reduktion des Umlaufbestands verbunden ist, dadurch können sich Auslastungsveränderungen an den Betriebsmitteln ergeben, die wiederum Bearbeitungsaufwendungen am Auftrag verändern.

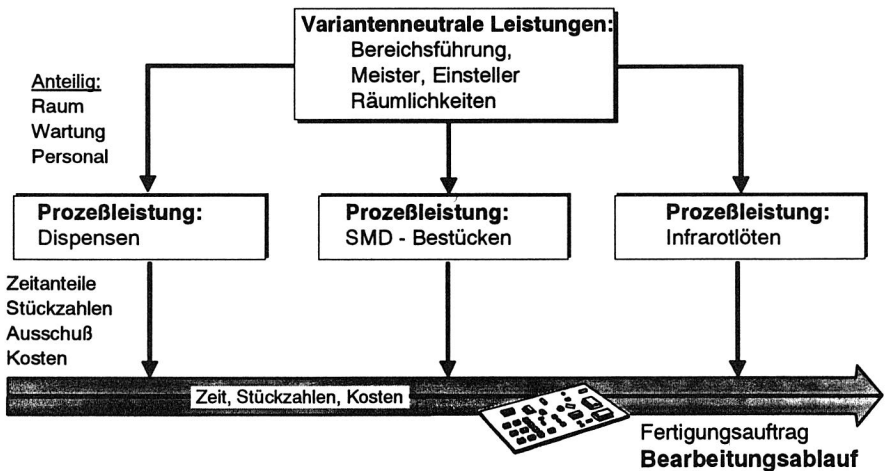


Bild 4.3: Zusammenführung der Leistungselemente am Auftrag

4.2.1 Auftragsimmanente Leistungsmerkmale

Ziel ist die vollständige Abbildung der Fertigungsleistung am Auftrag. Durch die verursachungsgerechte Verknüpfung von Fertigungsleistung mit den Auftragsmerkmalen wird die heute vorherrschende Informationsverdichtung aufgehoben und eine hohe Transparenz hinsichtlich Zeitbedarf, Qualitätsresultaten und Kostenverursachung erwirkt.

Dabei kristallisieren sich - entsprechend der Zielfelder im Bearbeitungsablauf - drei auftragseigene Merkmalsebenen heraus:

- Zeitprotokoll und Fertigungsstand
- Stückzahlverlauf, Veränderung der Losgröße
- Wertentwicklung

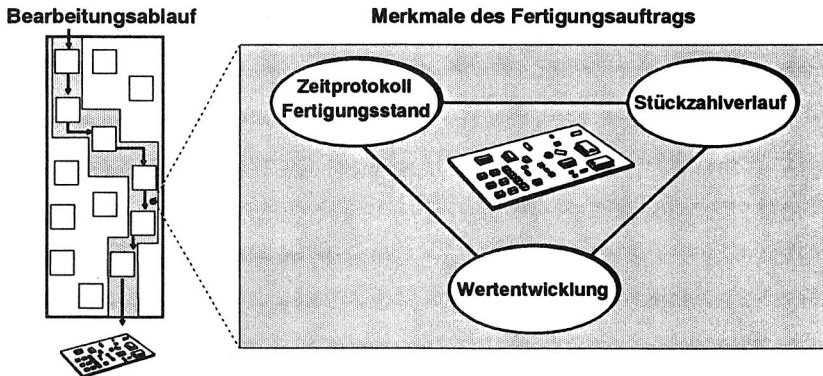


Bild 4.4: Merkmalsebenen des Auftrags im Bearbeitungsdurchlauf

Zeitprotokoll

Diese Aufzeichnung gibt den zeitlichen Fertigungsverlauf des Auftrags wieder und enthält dessen jeweiligen Zustand. Sie stellt damit die Aufschlüsselung der Durchlaufzeit und der Termintreue dar. Die zeitliche Prozeßsequenz ist Grundlage für die Aufwandszuordnung über die Betriebsmittel und die Stückzahlverfolgung. Der detaillierte Zeitverlauf in Verbindung mit dem Auftragswert ist wiederum Basis für die zeitaktuelle Ermittlung der Kapitalbindung durch den Auftrag.

Stückzahlverlauf

Die Entwicklung der Losgröße im Bearbeitungsablauf des Auftrags repräsentiert die Fertigungsqualität. Die Stückzahl ist Ausgangspunkt für die zeitaktuelle Wertberechnung je Baugruppe. Sie ist für die monetäre Sichtbarkeit der Fehlmengen infolge Ausschuß und für die Vergleichbarkeit der Aufträge erforderlich.

Wertsteigerungsverlauf

Der Wertsteigerungsverlauf beinhaltet in seinen unterscheidbaren Elementen die gesamte Fertigungsleistung in monetärer Form. Er gibt für jeden Zeitpunkt im Zeitprotokoll des Auftrags die finanziell bewerteten und am Auftrag erbrachten Einzelleistungen der Fertigung wieder.

Die Merkmalsebenen unterscheiden sich in physikalische und abstrakte Elemente.

- physikalische Merkmale
Zeit und Stückzahl sind dem Auftrag eigene, physikalisch meßbare Attribute.
- abstrakte Merkmale
Diese Eigenschaften sind monetärer Art und beinhalten differenziert alle Aufwendungen im Fertigungsbereich. Sie schließen die physikalischen Merkmale in verdichteter Form mit ein und resultieren aus dem Zeitbedarf des Auftrags, der Abnahme der Stückzahl im Fertigungsdurchlauf und aus der Leistungszufuhr über die Betriebsmittel.

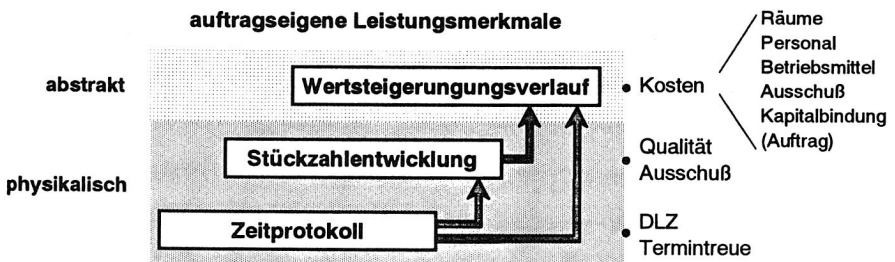


Bild 4.5: Merkmalsebenen des Auftrags und zugehöriger Informationsinhalt

Diese systematische Synthese ist Voraussetzung für eine Umkehrbarkeit der produktbezogenen Datenverdichtung, wie sie im Rahmen von Verbesserungsstudien gefordert wird (vgl. Abb. 2.19). Die Entwicklung der Merkmale ist für jeden Auftrag durchführbar. Damit werden Ausprägungsanalysen hinsichtlich der physikalischen und abstrakten Merkmale beliebiger Anteile des Auftragspektrums über wahlfreie Zeiträume, unabhängig von der funktionalen Gliederung in der Fertigung, ermöglicht.

Die differenzierte Aufwandszuordnung über die Betriebsmittel zum Auftrag (vgl. Kap. 4.3.2 ff.) erlaubt detaillierte und zeitaktuelle Aussagen über die reale Kostenzusammensetzung des Loses über dem Bearbeitungsverlauf.

4.2.2 Verknüpfung der Fertigungsleistung und der Merkmale am Auftrag

Hier wird die Synthese der Auftragsmerkmale aus der Fertigungsleistung gesamtheitlich verdeutlicht. Das Zeitprotokoll ist das Ergebnis der gesamten logistischen Fertigungsleistung und wird beispielsweise durch die Anlagenbewirtschaftung, Steuerung und Fertigungsqualität (Nacharbeit) bestimmt.

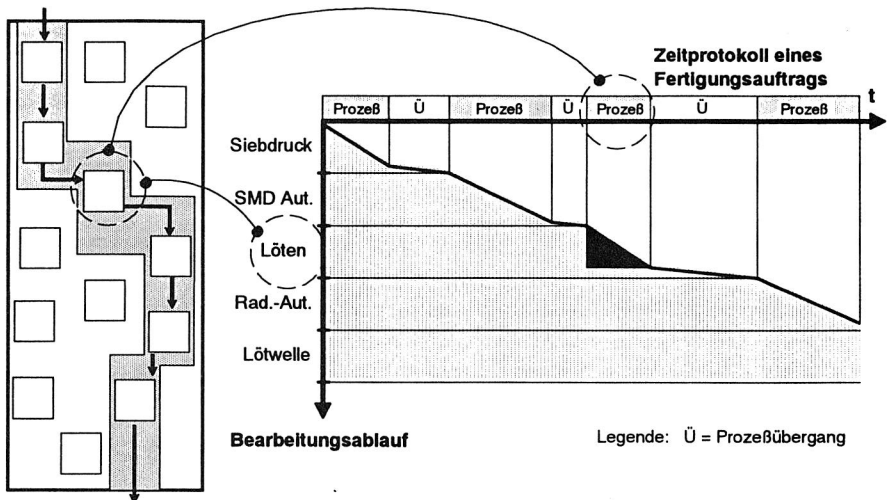


Bild 4.6: Verbindung Zeitprotokoll - Fertigungsleistung

Die Abnahme der Losgröße im Stückzahlverlauf durch Ausschuß ergibt sich unmittelbar als Folge eingeschränkter Fertigungssicherheit an den Bearbeitungsschritten und ist mittelbar eine Folge der Logistik, der Produktgestaltung und der Prozeßvorbereitung (vgl. Abb. 4.20).

Der Wertsteigerungsverlauf repräsentiert auf abstrakter Ebene alle Leistungen die in der Fertigung am Auftrag erbracht werden. Er setzt sich zusammen aus:

- Materialkosten,
- Kosten für die Kapitalbindung des Auftrags,
- Aufwendungen für den Stückzahlswund infolge Ausschuß sowie den
- monetär bewerteten Leistungen der Betriebsmittel und deren Umfeld

In der Elektronik sind die Materialkosten bereits bei der Auftragsfreigabe dem Auftrag zuzuordnen. Die kalkulatorischen Aufwendungen für die Kapitalbindung durch den Auftrag sind direkt abhängig von Fertigungsstand und dem Zeitprotokoll. Die durch Ausschuß verursachte Reduktion der Losgröße wird durch Verlustzuweisung an die verbliebenen Gutteile sichtbar. Im Rahmen der auftragsbezogenen Kostenzuordnung über die Betriebsmittel wird der Großteil der Fertigungsaufwendungen, auch die variantenneutraler Entstehung, bewerkstelligt.

Bild 4.7 verdeutlicht diesen Zusammenhang für den kumulierten Wertverlauf einer Baugruppe des Fertigungsauftrags in der Prozeßkette. Entsprechend der Zusammensetzung dieser Kurve sind grob zwei Zuwachselemente zu unterteilen:

- Zuwachs durch Bearbeitung
- Zuwachs durch Prozeßübergang

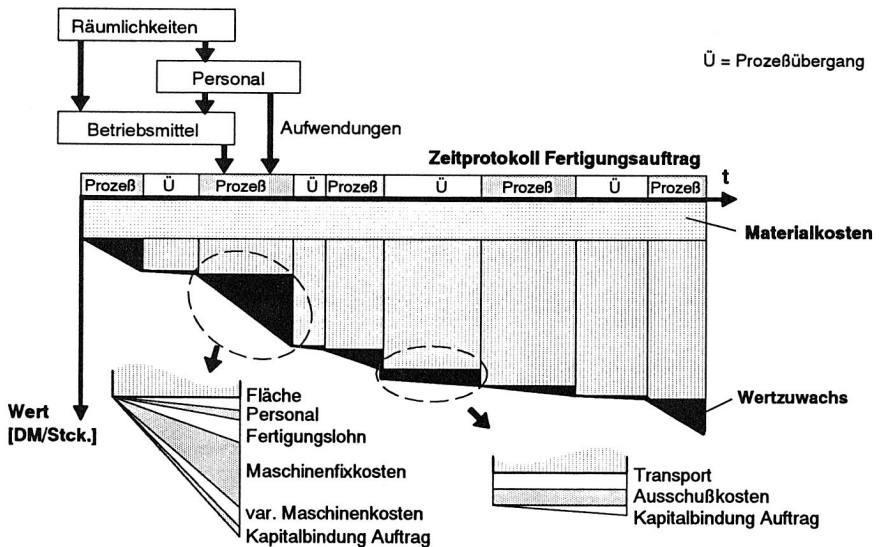


Bild 4.7: Verbindung Wertsteigerungsverlauf - Fertigungsleistung

Die variantenneutralen Aufwendungen (z.B. Personal, Flächen) dienen primär den Elementen der Aufbauorganisation, respektive den Betriebsmitteln, und dem Fertigungspersonal. Dementsprechend lassen sie sich diesen verursachungsgerecht zuordnen und können dann durch Inanspruchnahme der Anlage verursachungsgerecht dem Auftrag verrechnet werden. Die Zusammensetzung des Zuwachses durch Bearbeitung umfaßt daher die Aufwandselemente:

- Flächenanteile außerhalb der Betriebsmittelfläche
- Personal der Leistungsbereitstellungs- und Führungsfunktionen
- Fertigungslohn entsprechend dem Automatisierungsgrad des Arbeitsgangs
- differenzierte Fixkosten der Anlage
- variable Maschinenkosten
- Kapitalbindung des Auftrags

Im Rahmen der Prozeßübergänge erstrecken sich die Kostenanteile über:

- Transport im Rahmen des erforderlichen Materialfluß
- Ausschuß des beendeten Prozesses
- Kapitalbindung des Auftrags

4.2.3 Anhaltspunkte für die Veränderbarkeit gemessener Leistungswerte

Mit der Spezifikation von **direkten und indirekten** Anteilen ist ein Wertungskriterium geschaffen, das als Indiz für die Beeinflußbarkeit von Merkmalsausprägungen dient.

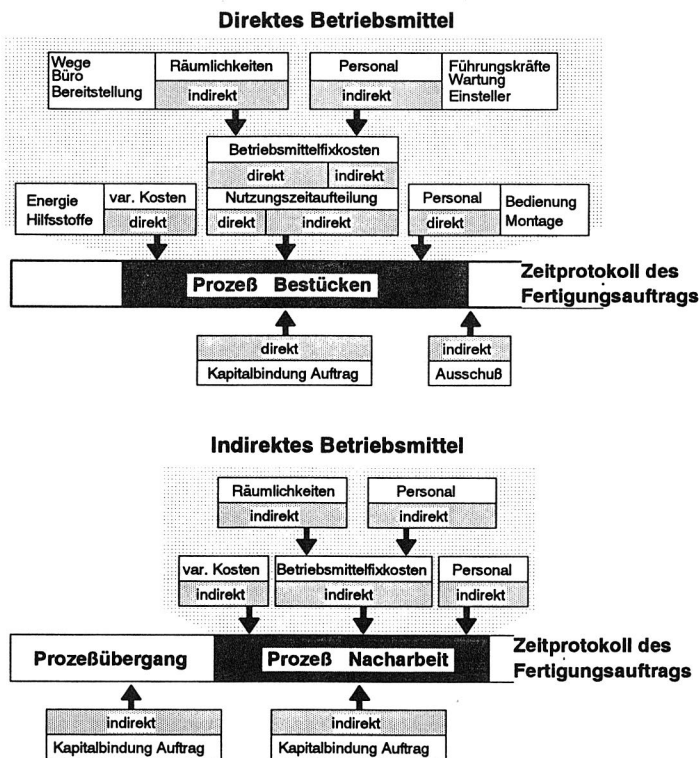


Bild 4.8: Zusammensetzung der direkten und indirekten Wertanteile am Auftrag

Analog vorhergehender Ausführungen beinhalten Prozesse ein relativ geringes Verbesserungspotential aufgrund der Konzentration einzelner Spezialisten auf diesen Vorgang. Diese, für den Aufbau der Baugruppe essentiell erforderlichen

Prozeßleistungen und ihre Auswirkungen auf den Auftrag werden daher als geringfügig verbesserbar angesehen und als **direkt** bezeichnet.

Abläufe deren Effizienz sich aus Querschnittsfunktionen ergibt, sind in ihren kausalen Zusammenhängen von hoher Komplexität geprägt und reagieren auf Veränderung der Randbedingungen weitgehend unkontrolliert. In Verbindung mit bestehenden Organisationsstrukturen ist die Erfassung und Optimierung einem hohen Schwierigkeitsgrad unterworfen. Durch den Leistungsbereitstellungscharakter stellen sie den primär veränderbaren Anteil dar und werden daher als **indirekt** benannt.

Die Sichtbarkeit dieser zu unterscheidenden Anteile im Wertsteigerungsverlauf des Auftrags setzt die Differenzierung direkter und indirekter Anteile in den physikalischen Merkmalsebenen und im Bereich der Betriebsmitteleleistungen voraus. Diese Spezifikationen werden in den nachfolgenden Kapiteln getroffen und sind hier überblicksweise für die Wertentwicklung des Auftrags im Rahmen des Bearbeitungsablaufs zusammengesetzt (vgl. a. Abb. 4.8 und Kap. 4.3.2).

4.3 Theorie und Anforderungen auftragsbezogener Leistungszuweisung

4.3.1 Bestände, Durchlaufzeiten und Termintreue

Die Kenngrößen "Umlaufbestand, Durchlaufzeit und Termintreue" sind wichtige Beurteilungskriterien und Steuergrößen in der Fertigung. Diese Leistungswerte der Logistik ergeben sich aus der Querschnittsfunktion "Logistik" und daher aus dem Effizienzgrad verschiedenster Unternehmensfunktionen [84, 120]. Die Notwendigkeit zur Eingrenzung ungünstiger Leistungsausprägung und zur Informationsauflösung für die Ermittlung der Ursachen ist hier daher in besonderem Maß gegeben.

Die Durchlaufzeit und die Termineinhaltung werden i.d.R. bereichsbezogen und als Durchschnitt über das Auftragsspektrum oder Teilen davon ermittelt. Dies ist zurückzuführen auf das informationsliefernde PPS-System, das entsprechend der aufbauorganisatorischen Gliederung der Fertigung Ein- und Ausgangszeiten der Aufträge erfaßt, Durchlaufzeiten ermittelt und mit den SOLL-Vorgaben die Termintreue ableitet [70, 71]. Sie drückt die Schwankungsbreite der Durchlaufzeiten aus und ist damit Maß und Voraussetzung für die Planbarkeit der Fertigung. Die Quantifizierung des Umlaufbestands stellt klassisch einen sektoralen Meßwert dar. Informationslieferant ist das bereichsbezogen arbeitende PPS-System.

Die Abbildung 7.5 entstammt einem untersuchten Praxisfall und gibt die Durchlaufzeit- und Termintreuesituation einer mittelgroßen Elektronikfertigung wieder. Obwohl die Durchlaufzeiten im Verlauf eine zufriedenstellende Entwicklung vermuten lassen,

deutet die ermittelte Termintreue auf erhebliche Schwankungen der Durchlaufzeiten hin. Diese Darstellungen entsprechen dem heutigen Stand automatisierter Vorgehensweise und repräsentieren im Monat etwa 1200 Aufträge mit ca. 50.000 Baugruppen. Die örtliche oder auftragsbezogene Eingrenzung hinsichtlich besonders ausgeprägter Fälle war hierbei nicht möglich.

Übertragung auf den Einzelauftrag

Es zeigt sich, daß die zeitliche Aufschlüsselung der Durchlaufzeit eines Auftrags die Grundlage für die Leistungszuordnung darstellt. Für die Übertragung auf einen Einzelauftrag werden die einzelnen Fertigungsschritte auf der Zeitachse abgebildet und die zeitlichen Ereignisse im Fertigungsdurchlauf des Auftrags mitprotokolliert. Der anzusetzende Detaillierungsgrad richtet sich nach den Erfassungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Rahmenbedingungen (vgl. Kap. 5).

Ein Arbeitsvorgang wird im wesentlichen in fünf Bestandteile zerlegt, die dem jeweiligen Auftragszustand entsprechen [8, 124]. Der Bearbeitungsvorgang wird zusätzlich durch technische und organisatorische Ablaufstörungen unterbrochen. Der Bearbeitungsablauf des einzelnen Fertigungsauftrags kann damit in einem Zeitprotokoll vollständig wiedergegeben werden.

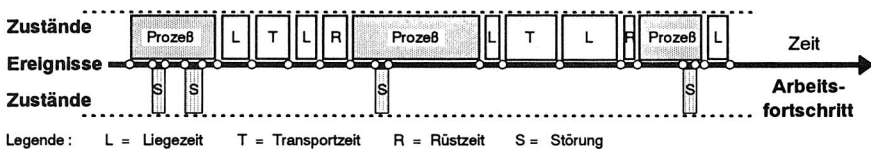


Bild 4.9: Ausschnitt aus dem Zeitprotokoll eines Fertigungsauftrags mit den Ereignissen im Bearbeitungsablauf und dem jeweiligen Zustand

Dieses am IST-Zustand orientierte Zeitprotokoll des Auftrags repräsentiert die gewünschte hohe Informationsauflösung hinsichtlich Zeit, logischem Ort sowie Ereignis und schließt naturgemäß die Zuordnung zum Auftrag ein. Hieraus können alle zeitbetreffenden Datenverdichtungsstufen höherer Ordnung, beispielsweise zur Durchlaufzeitbestimmung abgeleitet werden.

Termintreue:

Ungeplante Durchlaufzeitschwankungen führen zur Verschiebung der disponierten Termine. Die Eingrenzung von Terminuntreue fordert die schrittweise Minimierung der zu betrachtenden Durchlaufzeitschnitte und daher einen Vergleich von IST- mit SOLL-Zeitpunkten.

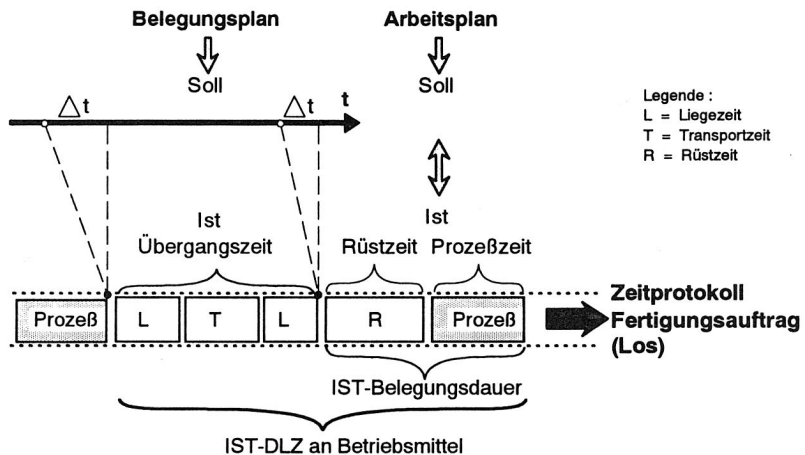


Bild 4.10: Überprüfung der Termintreue im Bearbeitungsablauf eines Loses

Der Detaillierungsgrad ist beschränkt auf die Verfügbarkeit von Planungszeiten. Diese sind i.d.R. Haupt- und Rüstzeit. Die niedrigste Verdichtungsstufe bei Überprüfung der Zeiteinhaltung betrifft daher diese Elemente. Sie haben relativen Charakter und beziehen sich auf den jeweiligen Beginn der Tätigkeit. Zur Überprüfung der Termintreue an den Zeitelementen für Transport und Zwischenlagerung ist die Orientierung an der absoluten Zeit erforderlich. Hierzu kann die Belegungsplanung der Werkstattsteuerung zur Bildung von SOLL-Übergangszeiten herangezogen werden, womit die Eingrenzung von Terminverschiebungen für alle Zeitelemente prinzipiell ermöglicht wird.

Umlaufbestand:

Das auftragsbezogene Zeitprotokoll beinhaltet bereits den "Bestand" eines Loses aufgeschlüsselt nach Zeit und logischem Ort. Bestandsermittlungen im konventionellen Sinn erfordern die Definition mehrerer Aufträge, eines logischen Orts und eines Zeitpunkts. Über die auftragsbezogenen Zeitprotokolle werden Bestände durch die Quersumme ermittelt.

Die Abbildung 4.11 verdeutlicht am Beispiel des Prozesses 7 das Vorgehen. Die Zeitprotokolle ergeben den zeitlichen IST-Arbeitsablauf orientiert an den Arbeitsstationen. Es sind daher die Aufträge (hier B, C) ermittelbar, die zum gewählten Zeitpunkt vor der Arbeitsstation 7 gepuffert wurden. Mit Hilfe der Auftragsstückzahlen und dem bekannten Arbeitsstand der Aufträge wird die Bestandsermittlung und -bewertung durchgeführt.

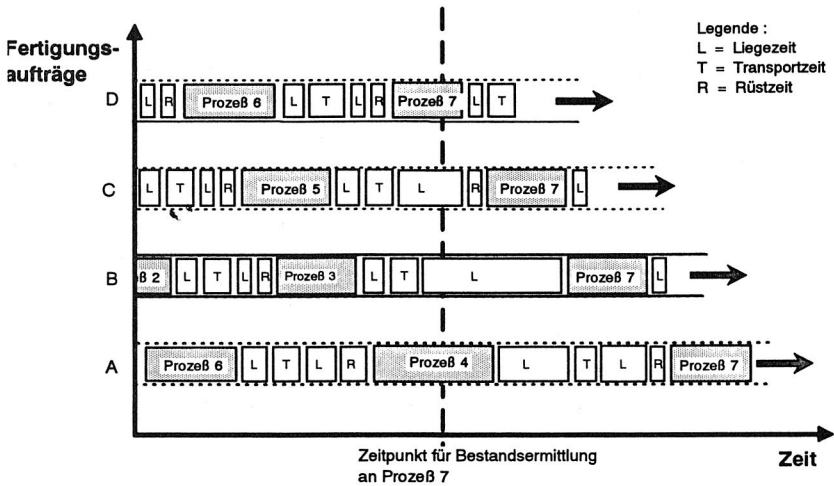


Bild 4.11: Bestandsermittlung aus den Zeitprotokollen der Aufträge

Gesamte Durchlaufzeit				
Feiertage	Durchlaufzeit in Betriebskalendertagen			
	Ungenutzte Schichten			
	Puffer	Transport	Rüsten	Prozeß
Nicht beeinflussbar	Organisatorisch beeinflussbar		Technisch beeinflussbar	
	Übergangszeit			S Hauptzeit
	↓			↓
	Indirekter Anteil			direkter Anteil

S = Störungen

Bild 4.12: Differenzierung der direkten und indirekten Durchlaufzeitanteile eines Fertigungsauftrags

Auf Basis der zeitlichen Auftragsprotokolle wird somit eine hohe Informationsauflösbarkeit erzielt. Für beliebige Anteile des Auftragsspektrums sind Bestandsermittlungen für jeden logischen Ort und für jeden Vergangenheitszeitpunkt durchführbar. Die Variation der Anzahl der Aufträge und der Bearbeitungsstationen ermöglicht dabei jede höhere Datenverdichtungsstufe. Für die Bestimmung des Bestandverlaufs über eine Periode werden aufeinanderfolgende Zeitpunkte ausgewählt.

4.3.2 Anlagenbewirtschaftung

Eine wesentliche Problematik betrifft die Wechselwirkungen zwischen der Anlagenbewirtschaftung und dem Bearbeitungsablauf des einzelnen Auftrags. Die Interdependenzen der Aufträge führen beispielsweise zu einem Pufferleerlauf an einzelnen Bearbeitungsstationen, wodurch die Anlagenbewirtschaftung negativ beeinflusst wird [124]. Ungenutzte Schichten, Wartungsarbeiten oder Leerlaufanteile haben Bereitstellungscharakter im Sinne der Leistungserbringung am Auftrag. Der Auftrag als Inanspruchnehmer der Prozeßleistung hat den Bereitstellungsaufwand zu tragen. Zur Beurteilung ist sie in Bezug zum Einzelauftrag zu setzen.

Die Übertragung der Bereitstellungsleistung einer Anlage auf den Auftrag ist nur auf höherer, monetär bewerteter Ebene möglich, da im Zeitprotokoll des Auftrags nur Ereignisse im Rahmen der jeweiligen Belegungszeit enthalten und die Betriebsmittel sehr unterschiedlich sind.

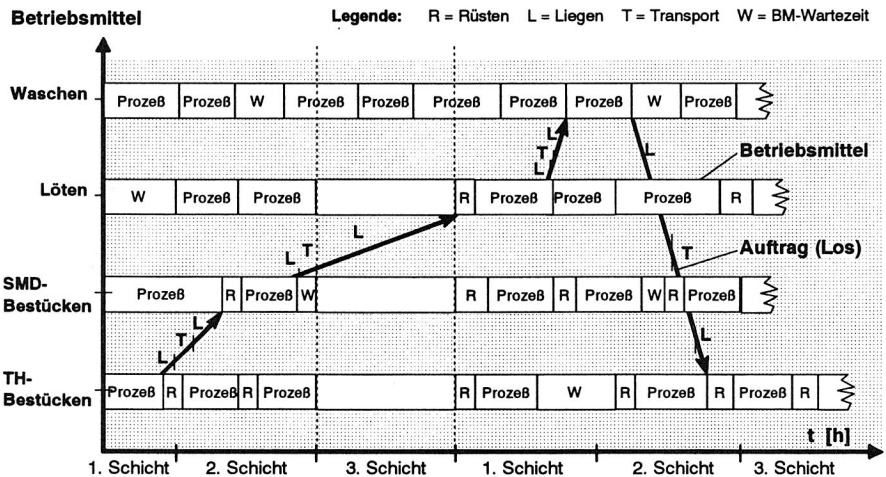


Bild 4.13: Wechselwirkungen zwischen Anlagenbewirtschaftung und auftragsbezogenem Bearbeitungsablauf

Übertragung auf den Einzelauftrag

Die Nutzungsanteile eines Betriebsmittels werden prinzipiell unterteilt in Rüstvorgänge, Wartung und Reparatur, organisatorische Ablaufstörungen, technische Störungen und Hauptzeit [3, 114, 124].

Bei der Übertragung der Prozeßleistung auf den Fertigungsauftrag sind die Prozeßeigenschaften betreffend Zeit, Qualität und Kosten zu berücksichtigen. Die Zeitanteile des Betriebsmittels, während sich der Auftrag in Bearbeitung befindet, sind im Zeitprotokoll des Auftrags bereits enthalten. Die Zuordnung des Betriebsmittelaufwands erfolgt über die Belegungszeit, da dies die Zeitspanne darstellt, die den Zeitprotokollen für den Auftrag und das Betriebsmittel gemein ist. Über die Zeitprotokolle selbst sind für den Auftrag keine zusätzlichen Informationen erzielbar. Die Qualitätsaspekte im Rahmen der Auftragsbearbeitung an einem Betriebsmittel werden nachfolgend gesondert betrachtet.

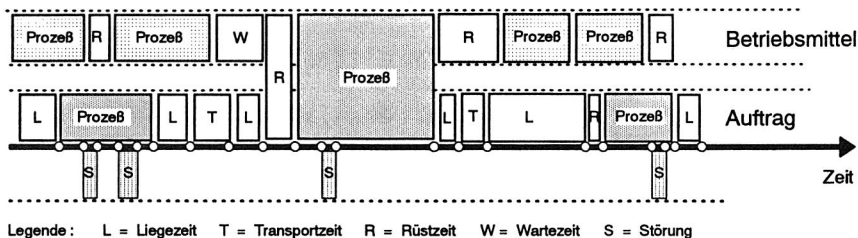


Bild 4.14: Zusammenhang der Zeitprotokolle des Auftrags und des Betriebsmittels

Die Kostenanteile, die ein Betriebsmittel verursacht, werden bei einer betriebsmittelbezogenen Analyse als statisch angesehen. Die Tatsache, daß die auftragsbezogenen Kosten an einer Anlage vermindert werden, wenn Unterbrechungszeiten verringert oder die Arbeitsschichten verändert werden können, findet hierbei keine Berücksichtigung. Umgekehrt können Veränderungen in der Anlagenbewirtschaftung am Auftrag nicht erkannt werden.

Ziel für die Leistungsbewertung am auftragsbezogenen Bearbeitungsablauf ist es daher, den Aufwand des jeweiligen Betriebsmittels, möglichst verursachungsgerecht und dem momentanen Auslastungsgrad entsprechend, dem Auftrag zuzuordnen. Zwei Kalkulationsverfahren auf Vollkostenbasis sind heute weit verbreitet und eignen sich aufgrund ihres hohen Detaillierungsgrads prinzipiell für eine Kostenzuordnung zum Auftrag [2, 66]. Die Verfahren sind:

- differenzierte Zuschlagskalkulation
- Maschinenstundensatzrechnung

Eine verursachungsgerechte Kostenverrechnung mittels differenzierter Zuschlagskalkulation wird im Rahmen eines zunehmenden Automatisierungsgrads angezweifelt [69]. Die Bildung von Gemeinkostenzuschlägen stellt zudem eine nicht umkehrbare Informationsverdichtung in zeitlicher, örtlicher und produktbezogener Hinsicht dar. Der damit verbundene Informationsverlust steht der hier vorliegenden Zielsetzung entgegen.

Die Kostenplatzrechnung, bei der für einzelne Maschinen sogenannte Kostenplätze eingerichtet werden, ist infolge eines hohen Detaillierungsgrads besser geeignet. Die Bewältigung des höheren Erfassungs- und Verrechnungsaufwands läßt sich rechnergestützt erreichen, sodaß die Einführung einer Kostenplatzrechnung nicht nur für kapitalintensive Arbeitsplätze wirtschaftlich erscheint [115].

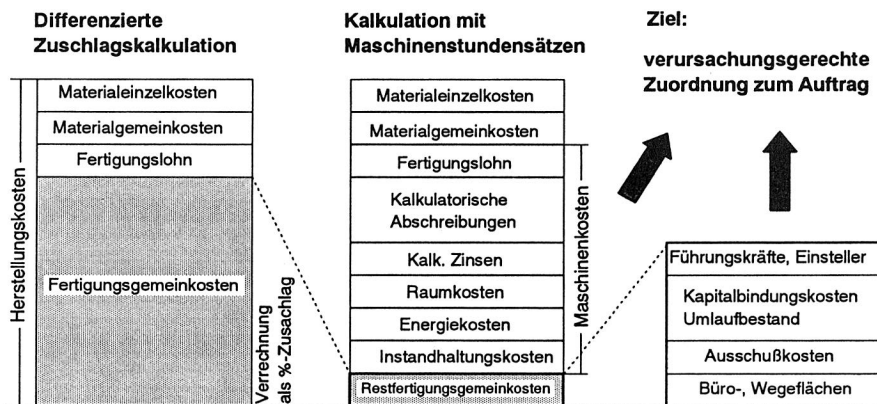


Bild 4.15: Zusammensetzung der auftragsbezogenen Herstellungskosten mit und ohne Aufschlüsselung der Maschinenkosten [in Anlehnung an 115]

Als Grundlage für die verursachungsgerechte Leistungszuweisung bietet sich somit die Kalkulation mit Maschinenstundensätzen an. Die Berücksichtigung der Forderung nach Einbezug des Beschäftigungsgrads wird ermöglicht durch einen, in kurzen Zeitperioden (z. B. täglich), zu berechnenden Maschinenstundensatz. Dem Auftrag wird entsprechend der tatsächlich benötigten Belegungszeit der, dem aktuellen Auslastungsgrad entsprechende Betriebsmittelaufwand verrechnet. (vgl. Abb. 4.16)

Diese Systematik unterscheidet sich deutlich vom heutigen Standard. Üblicherweise wird der Maschinenstundensatz als Stammdatum des Betriebsmittels gehalten und ist damit weitgehend statisch. Er wird herkömmlich aufgrund langfristiger Erfahrungswerte angesetzt und für eine bestimmte Leistung bzw. für einen festgesetzten Beschäftigungsgrad ermittelt. Geringfügige Änderungen des Auslastungsgrads führen nicht zu einer erneuten Berechnung des Satzes, da zum einen die maschinenbezogenen Rückmeldedaten bisher meist nicht aktuell verfügbar waren und zum anderen die manuelle Berechnung einen zu hohen Aufwand erfordert. Mittels einer rechnergestützten, kontinuierlichen Berechnung kann die Zuordnung von Kosten auf die Kostenträger verursachungsgerechter bezüglich der momentanen Situation in der Produktion erfolgen und erhöht damit die Transparenz der Kostenentstehung bezüglich des Auftrags.

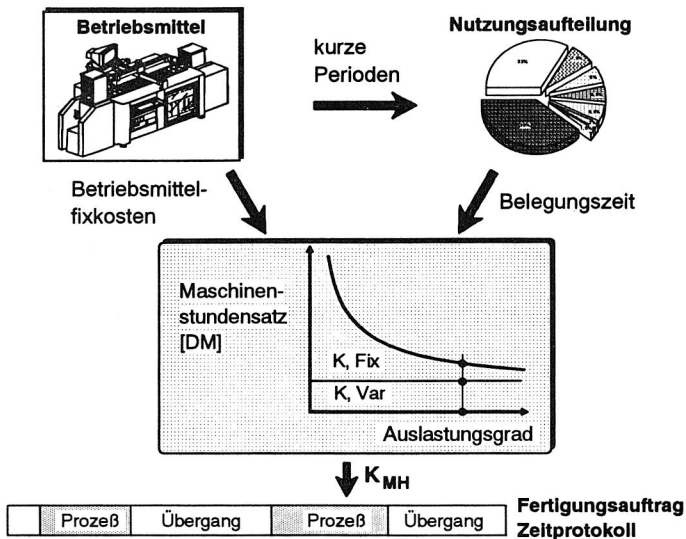


Bild 4.16: Verursachungsgerechte Zuordnung der monetären Prozeßleistung zum Fertigungsauftrag

Für die monetäre Leistungszuordnung zum Auftrag ist es wesentlich, die einzelnen Kostenarten des Maschinenstundensatzes in beschäftigungsabhängige Leistungskosten und davon unabhängige Bereitschaftskosten zu unterteilen. In gut organisierten Fertigungen können die erforderlichen Informationen für die einzelnen Anlagen als verfügbar angesehen werden.

Der Verlauf der Anteile des Maschinenstundensatzes, bezogen auf einen längeren Zeitraum (z. B. ein Jahr) zeigt, daß sich die Bereitschaftskosten unabhängig von Schwankungen des Auslastungsgrads auf gleichem Niveau befinden. Die Kosten, die mit der Nutzungsdauer korrelieren zeigen direkt proportionale Veränderungen. Bezogen auf eine Stunde Laufzeit, wird deutlich, daß die Leistungskosten konstant sind, die Bereitschaftskosten, in Abhängigkeit der Maschinenauslastung degressiv abnehmen [86] (vgl. Abb. 4.17).

Damit gelingt eine verursachungsgerechte Verrechnung der Betriebsmittelleistung zum Auftrag. Umgekehrt ist damit die Basis für die Analyse der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe in monetärer Hinsicht gegeben. Um Restfertigungsgemeinkosten weitgehend zu vermeiden, werden Aufwendungen für Ausschuß, Personal und Räumlichkeiten in nachfolgenden Kapiteln untersucht (vgl. Abb. 4.15).

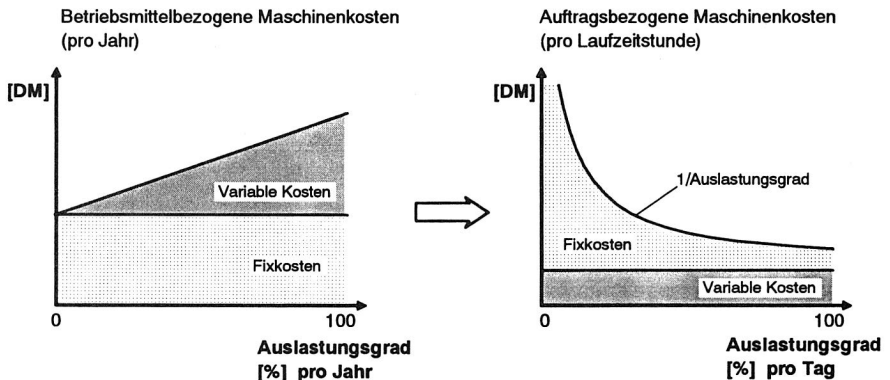


Bild 4.17: Abhängigkeit der auftragsbezogenen Bearbeitungskosten vom Auslastungsgrad des Betriebsmittels

Differenzierung in direkte und indirekte Anteile

Ein Einzelauftrag nimmt verschiedenartige Betriebsmittel in Anspruch, wie:

- Montage- und Fertigungselemente
 Dies sind Bearbeitungs- und Montagestationen unterschiedlichster Automatisierungsgrade.
- Transportelemente
 Diese Anlagen dienen zur Bewerksstellung der innerbetrieblichen Transporte zwischen einzelnen Bearbeitungs- oder Lagerelementen.
- Lagerungselemente
 Diese Betriebsmittel werden als Zwischenlager eingesetzt. Unter die Funktion Lagern fallen nicht die elementabhängigen Zeitanteile von Zwischenpuffern.
- Prüf- und Reparatürelemente
 Diese Arbeitsstationen umfassen überwiegend Aufgaben der Qualitätssicherung und -prüfung sowie der Nacharbeit.

Der Durchlauf eines Auftrags durch die Produktion kann mit diesen Tätigkeitselementen vollständig abgebildet werden. Arbeitspläne repräsentieren mit Ausnahme der Transportmittel und unvorhergesehenen Nacharbeitsstationen alle Betriebsmittel in der vorgesehenen Reihenfolge. Das Zeitprotokoll des Auftrags ist am IST-Ablauf orientiert und schließt diese ungeplanten Bearbeitungsgänge mit ein.

Die Unterscheidung in direkte und indirekte Anteile als Maß für die Beeinflussbarkeit erfolgt auf Betriebsmittelebene und hinsichtlich der Nutzungsanteile. Die Einteilung

dieser Fabrikelemente in direkte oder indirekte Elemente orientiert sich an der Art der Leistungserbringung am Auftrag.

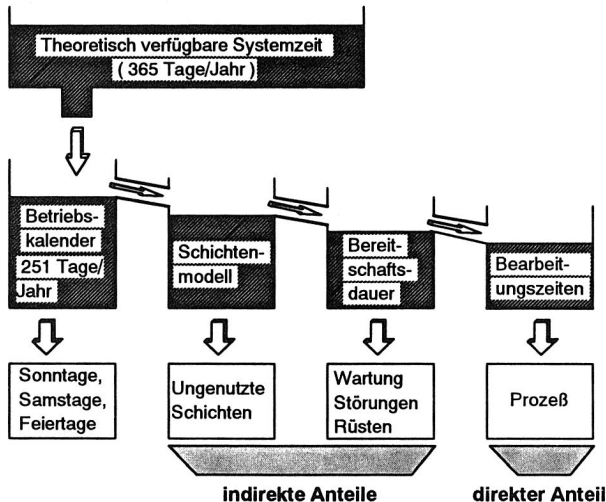


Bild 4.18: Direkte und indirekte Nutzungsanteile am Betriebsmittel

Die Nutzung direkter Betriebsmittel gliedert sich entsprechend der Nutzungszeitan-teile auf. Hierbei ist zu beachten, daß alle Zeitanteile des Betriebsmittels, mit Ausnahme der Bearbeitungszeit, nicht zu einem realen Arbeitsfortschritt am Auftrag beitragen.

4.3.3 Qualität, Ausschuß und Nacharbeit

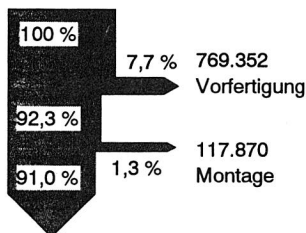
Wichtiges Rationalisierungspotential bildet der Sektor Qualitätssicherung in der Elektronikfertigung. Dies ist darin begründet, daß fehlerhafte Baugruppen in einem Auftrag einen überproportionalen Mehraufwand verursachen. Diese unerwünschten Eigenschaften werden bei der Anlagenbewirtschaftung, als auch am Auftrag selbst sichtbar. Qualitätsmängel im Fertigungsprozeß haben zur Folge, daß:

- die durch den Auftrag in Anspruch genommenen Betriebsmittel bis zur Fehlerentdeckung dem Ausschußanteil entsprechend unnötig beansprucht werden,
- Qualitätsprüfungen in erforderlicher Dichte, bezogen auf den Auftragsdurchlauf, eingerichtet werden müssen,
- Aufträge durch präventive Qualitätsprüfungen belastet werden,
- ein Materialmehrverbrauch entsteht,

- die bis zur Fehlerentdeckung aufgebrauchte Fertigungsleistung bei irreparablen Baugruppen als verloren zu betrachten ist,
- bei ungeplanten Qualitätsmängeln die angestrebte Stückzahl nicht erreicht werden kann,
- zusätzlicher Wertverbrauch in Form von Zeit und Kosten für Reparaturen und Nacharbeit auftritt,
- reparierte Baugruppen einen Qualitätsnachteil erfahren und daß
- Aufträge durch Nacharbeit einzelner Baugruppen verzögert werden und dadurch von ihrem Terminplan abweichen. Höherer Termindruck und Eilaufträge mit Auswirkungen auf andere Aufträge sind die Folge.

Ausschuß in Vorfertigung und Montage

10.024.422 Stck.



9.137.200 Stck.

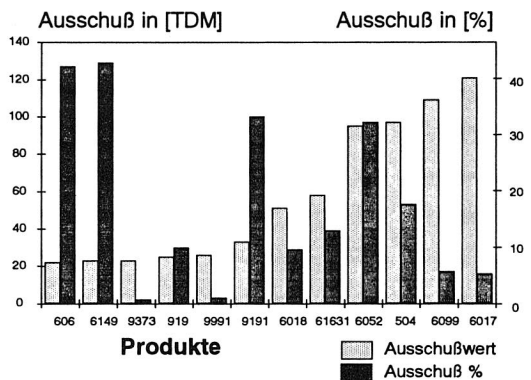


Bild 4.19: Dokumentation von Qualitätsfehlern in einer Fertigung für Dickschichtschaltungen

In variantenreichen Fertigungen erfolgt die Dokumentation von Qualitätsmängeln i.d.R. bereichsbezogen. Verschiedentlich werden charakteristische Fehler nach Produktgruppen differenziert. Unterschieden wird nach Ausschuß und Nacharbeit wodurch irreparable und wiederherstellbare Baugruppen definiert sind.

Die monetäre Quantifizierung der Auswirkungen von Fehlmengen erfolgt heute über die, bis zum Zeitpunkt der Fehlerentdeckung, aufgelaufenen Herstellungs- und Materialkosten der Baugruppen. Problematischer ist die Quantifizierung der Folgen von reparablen Qualitätsmängeln. Mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand ist nur der unmittelbare Aufwand bei der Nacharbeit zu ermitteln. I.d.R. wird dies jedoch aufgrund des relativ hohen Aufwands durch die Vielzahl der Aufträge und die eingeschränkte Nutzbarkeit dieser Information unterlassen.

Reparaturen stellen darüber hinaus unvorhergesehene Arbeitsgänge dar. Die erbrachte Leistung fließt demzufolge in die Gemeinkosten der Fertigungskostenstelle ein. Eine Folgenbilanz als Bewertungs- und Entscheidungsgrundlage für Verbesserungsvorhaben ist damit nur sehr bedingt durchführbar. Sie muß neben dem eigentlichen Reparaturaufwand die Verzögerungen des Restauftrags und die Auswirkungen auf die Anlagenbewirtschaftung bzw. auf die Konkurrenzaufräge mit einbeziehen.

Übertragung auf den Einzelauftrag

Um die Auswirkungen von Bearbeitungsmängeln am Auftrag vollständig sichtbar machen zu können sind Aspekte bezüglich Zeitbedarf, Auftragsstückzahl und Kosten zu berücksichtigen.

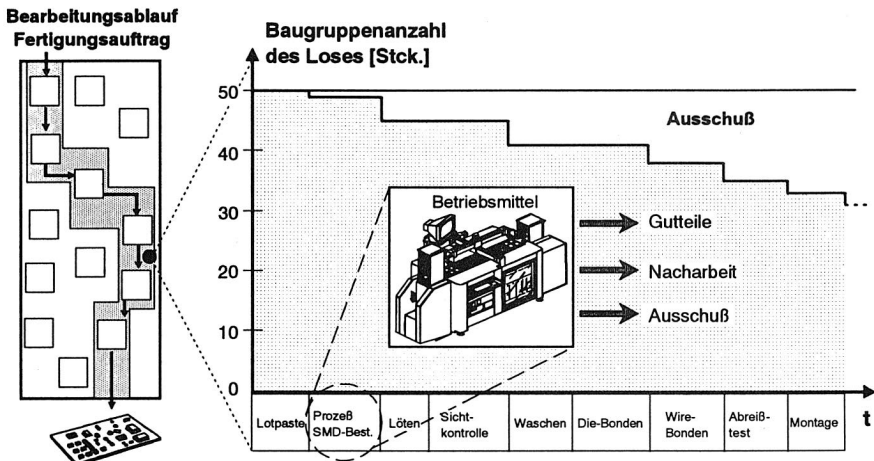


Bild 4.20: Stückzahlverfolgung im Auftragsdurchlauf

Stückzahlverfolgung

Der mengenmäßige Bestand eines Auftrags über die Prozeßkette repräsentiert den Ausschuß aufgeschlüsselt nach Arbeitsgang, zeitlicher Abfolge und Auftrag.

Zeitbedarf

Durch Reparatur entsteht erhöhter Zeitbedarf. Nacharbeit an Baugruppen des Auftrags werden durch die Aufnahme zusätzlicher Nacharbeitsprozesse sichtbar. Diese ungeplanten, zusätzlichen Arbeitsgänge werden analog zu normalen Bearbeitungsprozessen erfaßt und gehen in das Zeitprotokoll des Auftrags ein. Analog werden die Auswirkungen auf andere Aufträge in deren Zeitprotokollen aufgenommen.

Kosten

Die Zuweisung der Reparaturleistung am Nacharbeitsplatz erfolgt analog den Ausführungen im Kapitel Anlagenbewirtschaftung. Bei Ausschuß wird stückzahlbezogen verfahren, d. h. den Baugruppen des Restauftrags wird der monetär bewertete Verlust zugerechnet. Zusätzlicher Zeitbedarf kann über den aktuellen Wert des Auftrags bewertet werden.

Differenzierung in direkte und indirekte Anteile

Wie in vorhergehenden Ausführungen dargelegt ist die Verantwortung für die Prozeßqualität in hohem Maß außerhalb des eigentlichen Prozesses bestimmt. Es steht damit kein dedizierter Verantwortungsträger zur Verfügung und die Leistung am Auftrag ist nur aufgrund von Unzulänglichkeiten in der Prozeßkette erforderlich. Damit haben alle Zeitanteile, die im Zusammenhang mit Qualitätskontrollen und Nacharbeit stehen indirekten Charakter. Gleichbedeutend sind die Qualitätssicherungsprozesse zu sehen.

4.3.4 Personalwirtschaft

Die Belegschaft im der Fertigung wird entsprechend den Aufgaben unterteilt [63, 67]:

- Führung
In diese Kategorie fallen beispielsweise Meister, Gruppen- oder Abteilungsleiter mit Koordinations- und Führungsaufgaben.
- Leistungsbereitstellung
Dieses Funktionsgruppe ist dafür verantwortlich Betriebsmittel und das zugehörige Bedienpersonal auf die Leistungserstellung am Auftrag vorzubereiten und die Leistungsfähigkeit sicherzustellen. Dazu gehören Einsteller und Wartungspersonal mit Rüst- und Reparaturaufgaben.
- Leistungserbringung
Diesem Bereich sind die Fertigungslöhner zugeordnet. Sie erbringen mit Hilfe der Betriebsmittel die unmittelbare Prozeßleistung am Auftrag. Ihr Einsatz findet an Produktionsanlagen unterschiedlichen Automatisierungsgrads statt. Das Einsatzspektrum reicht von manuellen Arbeitsplätzen bis hin zur Mehrmaschinenbedienung an hochautomatisierten Systemen.

Die typische Bemessungsgröße für die Belegschaft ist monetärer Art. So wird der Fertigungslohn der direkt in die Prozeßleistung involvierten Mitarbeiter über einen Personalkostensatz entsprechend der Bearbeitungsdauer im Rahmen der Stückkostenkalkulation dem Auftrag zugerechnet. Die Leistungen, der Führungsfunktion und der Leistungsbereitstellungsfunktion hingegen stehen mit dem Auftrag nur mit-

telbar in Verbindung und zielen auf die Leistungsfähigkeit der Produktionssysteme und der Bedienmannschaft. Dementsprechend erfolgt die Aufwandsverrechnung heute im Gemeinkostenblock der Fertigungsabteilung [86, 67].

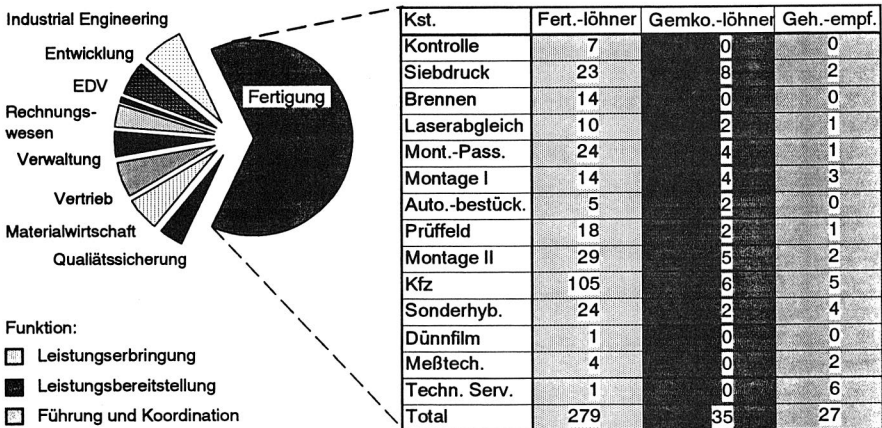


Bild 4.21: Personalstruktur einer Fertigung für Schichtschaltungen

Die vorherrschende, isolierte Betrachtung von Fertigungstechnologie und der damit in Zusammenhang stehenden indirekten Personalleistungen erschwert die Verknüpfung von Produktanforderungen mit technologischen Möglichkeiten und Erfordernissen. Für die Beurteilung von Ursachen und Maßnahmen sind die Personalleistungen vollständig in den Auftragsdurchlauf zu integrieren.

Übertragung auf den Einzelauftrag

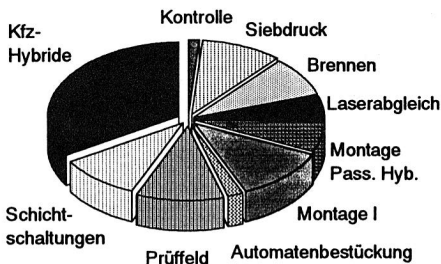
Im Bereich des Fertigungslohns kann die heutige Praxis übernommen werden. Die direkt am Prozeß beteiligte Leistung der Mitarbeiter wird analog zur heutigen Lohn-einzelkostenverrechnung dem Auftrag zugeordnet.

Das Betriebsmittel, der Prozeß und die Fertigungslöhner bilden das Zentrum der Anstrengungen des indirekt arbeitenden Personals. Die Eingliederung dieser Personalleistungen zum einzelnen Betriebsmittel ist daher, entsprechend den Erfordernissen des Prozesses, durchführbar. Eine Zuordnung zum Auftrag erfolgt mittelbar über die zeitliche Inanspruchnahme der Anlage. Damit werden diese Personalleistungen Teil des Maschinenstundensatzes für dieses Betriebsmittel.

Charakteristische Merkmale der Arbeitsplätze sind beispielsweise Automatisierungsgrad, geforderte Bearbeitungskomplexität oder Prozeßreproduzierbarkeit.

- **Anlagenfläche**
Hierunter fallen durch Produktionsmittel beanspruchte Anteile.
- **Bereitstellfläche**
Sie umfaßt alle Flächen, die zur Ablage von Aufträgen und Halbwaren vorgesehen sind, wie beispielsweise Puffer vor den Bearbeitungsstationen.
- **Bedienungsfläche**
Das ist die Fläche, die durch das Bedien- oder Fertigungspersonal an der Anlage benötigt wird.
- **Wegefläche**
Wegeflächen dienen zum Teiletransport und sichern die Zugänglichkeit der Produktionssysteme.
- **Bürofläche**
Führungskräfte und indirekt arbeitendes Personal benötigen i. a. Büroräume.

Fläche nach Fertigungsabteilungen



Fläche je Mitarbeiter

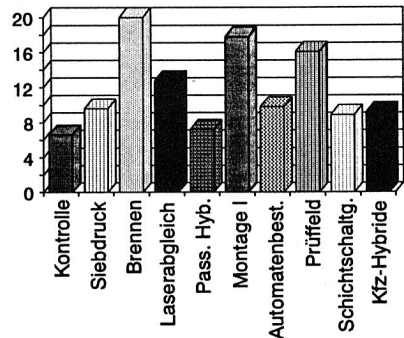


Bild 4.23: Flächenbedarf nach Fertigungsbereichen und Personal

Die Bereitstellung der Räumlichkeiten stellt einen hohen Fixkostenfaktor und eine auftragsneutrale Fertigungsleistung dar [2]. Die Verrechnung der damit in Zusammenhang stehenden Aufwendungen für Kapitaleinsatz, Energie, Reinigung und Instandhaltung erfolgt heute in zweifacher Hinsicht. In die Maschinenstundensatzrechnung gehen die Aufwendungen für die Anlagenflächen mit ein. Betriebsmittelneutrale Anteile, wie Wege, Bereitstellungs- und Büroflächen sind Bestandteile der Fertigungsgemeinkosten [86]. Der Bezug zur Leistung am Auftrag ist damit für diese Elemente nicht verursachungsgerecht herstellbar.

Übertragung auf den Einzelauftrag

Der Bedarf an Anlagen- und Bedienfläche sind der Systemkonzeption des Betriebsmittels eigen und diesem direkt zuweisbar. Aufwendungen hierfür sind bereits heute Bestandteil des Maschinenstundensatzes.

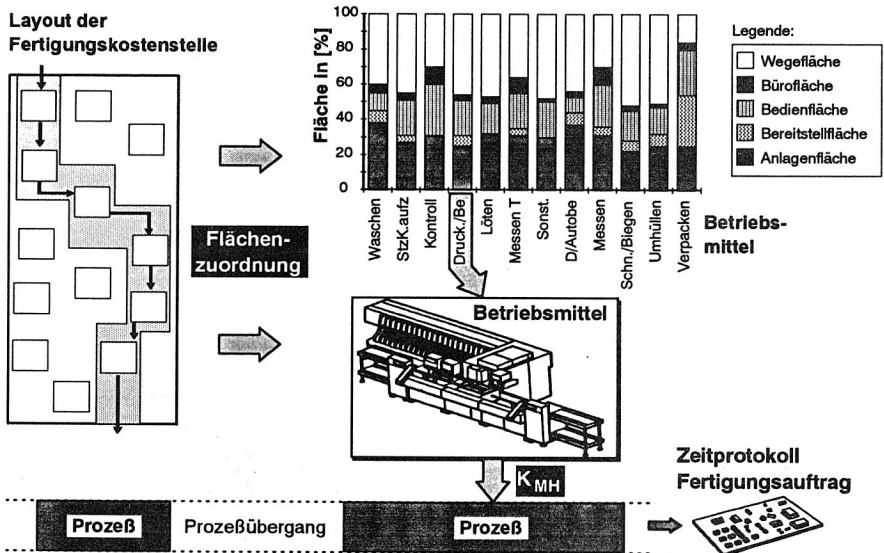


Bild 4.24: Flächenzuordnung zum Betriebsmittel und Zuweisung zum Auftrag

Erforderliche Bereitstellungsflächen für die Zwischenlagerung von Aufträgen sind von den zu puffernden Mengen abhängig. Diese ergeben sich aus der technologischen Anlagenkonzeption, als auch aus der logistischen Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems. Für die Wegefläche gilt ähnliches. Büroflächen stehen in direktem Zusammenhang mit dem Führungs- und indirekt arbeitenden Fertigungspersonal. Über die, im Kapitel Personalwirtschaft dargelegten, Wechselbeziehungen zwischen indirektem Personal und Bearbeitungsstation ist die Flächenzuordnung zum Betriebsmittel möglich. Damit können Aufwendungen für diese Flächenanteile als differenzierter Teil in den Maschinenstundensatz eingehen und die Zuordnung zum Auftrag hergestellt werden.

Differenzierung in direkte und indirekte Anteile

Die notwendige Menge an Büro-, Wege- und Bereitstellungsfläche ergibt sich primär aus dem Zusammenspiel des Fertigungsablaufs und ist damit von einer Vielfalt an

Faktoren abhängig. Sie haben daher indirekten Charakter. Die Bedien- und Anlagenfläche ist primär eine Folge der Prozeß- und Maschinenkonzeption. Die Einteilung ist daher je nach Betriebsmittelart einzuordnen und von dessen Nutzungsaufteilung abhängig.

4.4 Voraussetzungen für die Nutzbarkeit der theoretischen Grundlagen

Vorbedingung für die Verwendung der erarbeiteten Grundlagen dieses Kapitels ist die informationstechnische Abbildung der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe in einem datenverarbeitungsgerechten Modell. Dieses Abbild muß für das Auftragspektrum die auftragsbezogenen Leistungsmerkmale in Form des Zeitprotokolls, der Stückzahlverfolgung und der Wertentwicklung zeitlich fortlaufend sowie in detaillierter Aufschlüsselung beinhalten.

Der Ausbau zum Informationssystem für zielgerichtete Analysen erfordert die Spezifikation geeigneter Algorithmen und Darstellungsmöglichkeiten entsprechend der Auswertesystematik.

5. Quantifizierung der Bearbeitungsabläufe durch ein auftragsorientiertes Informationsmodell

Die erarbeiteten Grundlagen für die Zuordnung der Fertigungsleistung zum Auftrag basieren auf der schrittweisen Synthese der Ereignisse im Fertigungsablauf der einzelnen Aufträge und führen damit zu Auftragszuständen. Unter Einbezug von Bewertungsinformationen, wie beispielsweise differenzierte Maschinenstundensätze oder Personalleistungen werden monetär bewertete Auftragsattribute erzielt. Die Hinzunahme von Planungsdaten, wie Fragmente aus Arbeitsplan, Belegungsplan oder Vorkalkulation ermöglicht SOLL-IST-Vergleiche für Ausschub, Zeit- und Kostenelemente des Auftrags.

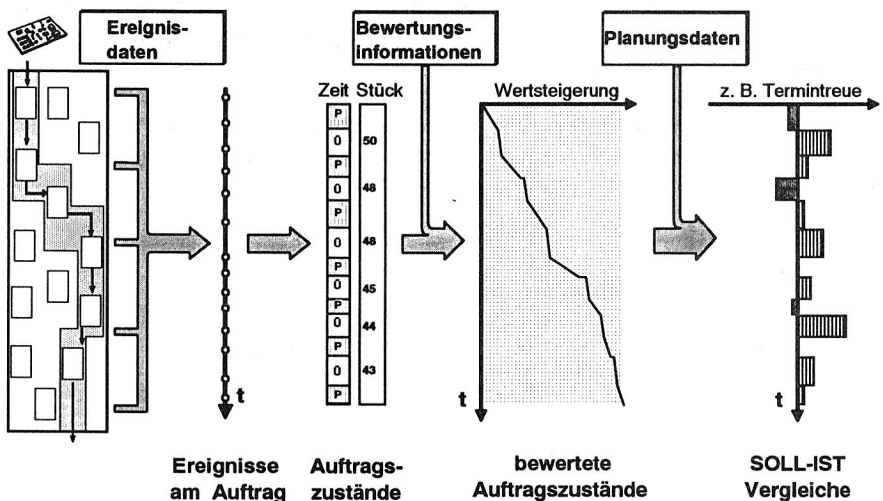


Bild 5.1: Ebenen der Informationssynthese und -auswertung je Auftrag

Die Vielzahl der Elementarinformationen über die Ereignisse sowie die umfangreiche Berechnung der physikalischen und abstrakten Auftragsmerkmale in ihren einzelnen Anteilen erfordern den Einsatz eines rechnergestützten Informationssystems. Dieses System führt die Quantifizierung des Werteverbrauchs (Zeit, Qualität, Kosten) in den Bearbeitungsabläufen der Fertigungsaufträge durch. Diese Transparenzsteigernde Maßnahme wird begleitet von geeigneten statistischen Auswertungen und SOLL-IST-Vergleichen, die eine detaillierte Schwachstellenanalyse und -lokalisierung ermöglichen. Dazu werden verschiedene Funktionsebenen für das System benötigt:

- Informationsmodell
- Berechnungsebene mit Auswertungsalgorithmen
- Darstellungsebene und Benutzeroberfläche

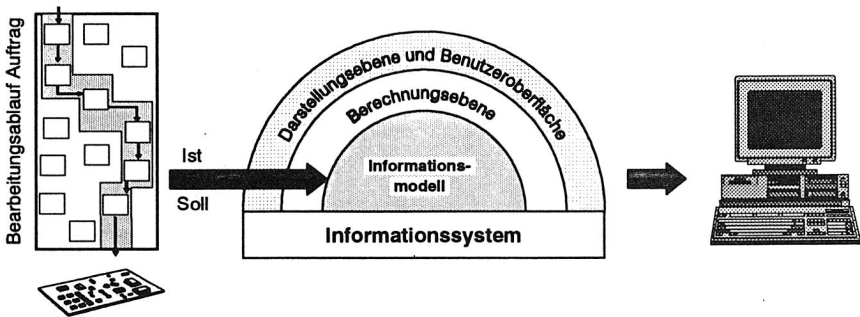


Bild 5.2: Prinzipaufbau des Informationssystems für die Quantifizierung und Untersuchung auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe

Basis für den Einsatz des Informationssystems ist die Verfügbarkeit eines geeigneten Informationsmodells, das die Ereignisse und Auftragszustände sowie die zur monetären Bewertung und zum Vergleich benötigten Bewertungs- und Plandaten enthält. Dieses Informationsmodell ist in diesem Kapitel konkretisiert.

5.1 Anforderungen an die datentechnische Modellierung

Die Modellbildung setzt stets eine gewisse Abstraktion der zu berücksichtigenden Elemente und Relationen eines abzubildenden Systems voraus. Unter einem System wird in diesem Zusammenhang eine Menge von Elementen (z. B. Personal, Betriebsmittel, Aufträge) verstanden, die sich durch bestimmte Eigenschaften charakterisieren sowie durch Relationen miteinander verknüpfen lassen [6]. Als derartiges System wird hier die Fertigung aufgefaßt. Die Modellbildung findet ihre Anwendung um wesentliche Informationen über bestehende Abhängigkeiten zu erhalten. Sie ist daher ein Analysehilfsmittel das - gegenüber den realen Verhältnissen - einfachere, aktuellere und aussagekräftigere Untersuchungen des Systems Fertigung ermöglicht.

Die Anforderungen an das Informationsmodell ergeben sich aus dem konzeptionellen Vorgehen für die Analyse auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe im Rahmen des Operativen Fertigungscontrolling und aus den theoretischen Grundlagen der Leistungszuordnung zum Auftrag (vgl. Kap. 3 u. 4). Sie sind nachstehend erläutert.

- Informationssynthese

Die Modellierung soll die auftragsorientierte Quantifizierung der Fertigung ermöglichen. Ereignisse am Fertigungsauftrag im Verlauf der Abarbeitung bilden dabei die Ausgangsbasis. Sie sind mit ihrer Spezifikation in die Abbildung einzubringen. Um gravierende Informationsverluste zu vermeiden, ist der Abstraktionsgrad möglichst gering zu gehalten.

- Informationsverdichtung, Verknüpfung mit der Aufbauorganisation

Ausgehend von den Ereignissen sollen beliebige Verdichtungsstufen realisierbar sein. Dieser Sachverhalt erstreckt sich auf die Hierarchie der Produkte sowie der Betriebsmittel und betrifft daher nicht nur die Auswerteebenen eines einzelnen Fertigungsauftrags. Ein Beispiel ist die statistische Auswertung der Übergangszeiten für alle Lose eines Produkts in einem gewählten Zeitraum zwischen den Arbeitsstationen einer Kostenstelle. Hier sind Kenntnisse über die Aufbauorganisation und über die Zugehörigkeit der Fertigungsaufträge (Lose) zu Produkten und Produktgruppen erforderlich.

- Historie abbilden

Das Modell soll die Historie der IST-Situation für die einzelnen Aufträge im Fertigungsbereich wiedergeben. Bewertungs- und Planungsdaten, wie Betriebsmittelkosten oder Arbeitspläne unterliegen durch die Entwicklung der Fertigung und der umfeldbedingten Änderungen der Randbedingungen einem kontinuierlichen Wandel. Die, diese Informationen verarbeitenden CA-Systeme des Unternehmens beinhalten i.d.R. nur den jeweilig aktuellen Stand [12, 70, 97]. Im Rahmen der Auswertung ist die Möglichkeit der on-line-Zulieferung durch diese Systeme an das Modell daher nicht gegeben. Daraus entsteht die Notwendigkeit diese Informationen entsprechend ihrer zeitlichen Gültigkeit in das Modell aufzunehmen.

- Dynamischer Modellumfang

Über die Einsatzdauer des Informationsmodells ist eine kontinuierliche Datenentstehung gegeben. Das Modell muß in der Lage sein diese Informationen fortwährend aufzunehmen.

- Gesicherte und wirtschaftliche Datenerfassung

Der Einsatz der dargelegten Systematik und des Modells ist nur unter dem Gesichtspunkt einer weitgehendst automatisierten Datenerfassung und -übergabe sinnvoll. Dies betrifft insbesondere die Ereignisse, die in der geforderten Menge manuell als nicht erfaßbar angesehen werden müssen. Der Detaillierungsgrad der Ereignisse ist hinsichtlich wirtschaftlicher Erfassungsmöglichkeiten zu prüfen und soll sich an heutigen Datenerfassungsmöglichkeiten orientieren. Zur Minimierung von Übertragungsfehlern bei Bewertungs- und Planungsdaten ist eine rechnergestützte Vorgehensweise bei der Übernahme dieser Informationen wünschenswert.

- Differenzierung in direkte und indirekte Auftragsattribute

Die Unterscheidung der Auftragsattribute hinsichtlich ihrer Beeinflussbarkeit setzt die entsprechende Eingruppierung der Bewertungsdaten voraus. Dies betrifft im wesentlichen die Betriebsmittel, da hier die Unterscheidung von der Art der Leistungserbringung abhängig ist, die in höheren Verdichtungsebenen nicht nachvollzogen werden kann.

- **Konsistenz**

Die gesicherte Reproduzierbarkeit der Analyseergebnisse fordert die Redundanzfreiheit des Informationsbestands im Modell.

5.2 Einsetzbarkeit bestehender Informationsmodelle

Zunächst wird die Einsetzbarkeit bestehender Modelle hinsichtlich der hier verfolgten Zielsetzung untersucht. Je nach Verwendungszweck werden bei der Planung, Untersuchung und Steuerung von Produktionssystemen unterschiedlichste Modelle angewandt. Beispielsweise sind technologieorientierte Modelle für die Prozeßführung, Qualitätssicherung oder Produktgestaltung von hoher Bedeutung. Damit können unter anderem prozeßübergreifend Ergebnisparameter eines Bearbeitungsgangs interpretiert und regelnd für Nachfolgeprozesse eingesetzt oder Abschätzungen hinsichtlich der günstigen Fertigbarkeit einer Produktkonstruktion getroffen werden. Für die vorliegende Zielsetzung der auftragsbezogenen Quantifizierung kommen nur Anwendungen mit einem ganzheitlichen Ansatz und den geforderten auftragsbezogenen Eigenschaften in Betracht. Dementsprechend wird hier auf die exakte Beschreibung der verschiedenen Modelle verzichtet und auf die einschlägige Literatur verwiesen [4, 6, 10, 31, 49, 54, 55, 58, 65, 89, 95, 101, 114]. Aufmerksamkeit wird vielmehr auf eine Betrachtung ganzheitlicher Informationssysteme für die Fertigung und ihnen zugrunde liegender Datenmodelle gelenkt.

5.2.1 Kennzahlenorientierte Modelle

Die Abbildung der Fertigung durch Kennzahlensysteme ist ein grundlegendes Hilfsmittel zur Beurteilung und Überwachung der Entwicklungstendenzen von Leistungsmeßkriterien. Absolute Werte besitzen zwar einen Erkenntniswert, erlauben aber durch den mangelnden Bezug nur mutmaßliche Aussagen. Kenngrößen werden daher aus zwei absoluten Werten gebildet [90].

$\text{Kennzahl} = \text{Beobachtungszahl} / \text{Bezugszahl}$

Ein Kennzahlensystem versucht Fragestellungen nach der Verhältnismäßigkeit durch Kennzahlenvergleich zu beantworten und Ursachen mittels Kennzahlenzerlegung einzugrenzen. Der Vergleich kann als Zeit- oder als Abteilungsvergleich durchgeführt werden und ergibt Beurteilungsmöglichkeiten über die zeitliche Leistungsentwicklung bzw. über die Leistungsausprägung verschiedener Fertigungsbereiche [9, 40].

Die Kennzahlenzerlegung beruht auf einer rechnerischen Aufschlüsselung in Unterkennzahlen und führt so zu einem Wertebaum [41, 44], wie ihn die Abbildung 5.3 beispielhaft zeigt. Kennzahlensysteme greifen selektiv Attribute auf und setzen sie in

höherverdichtete Werte um. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, daß die Aufgliederung vertikal von hoher zu niedriger Verdichtungsstufe erfolgt. Der Bearbeitungsablauf eines Loses und dessen jeweiligen Zustände in zeitlicher Reihenfolge sind damit nicht nachvollziehbar.

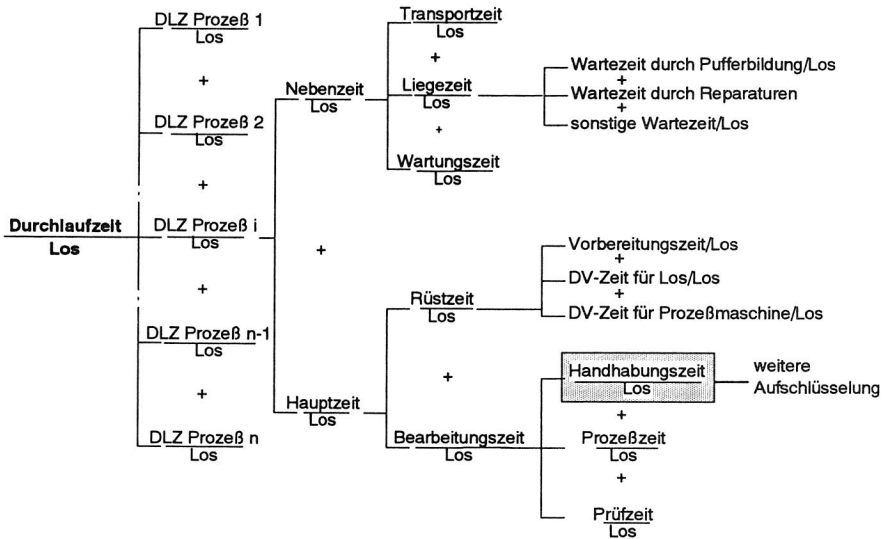


Bild 5.3: Kennzahlenzerlegung am Beispiel der Durchlaufzeit für ein Fertigungslos

Der Detaillierungsgrad wird zusätzlich begrenzt durch die Datenverfügbarkeit. Vorhandene Kennzahlenmodelle setzen auf den heute verfügbaren Informationsquellen auf und greifen dabei meist auf den Datenbestand des PPS-Systems zurück [6, 90]. Sie eignen sich daher zur Beurteilung einer Gesamtsituation und einer groben Eingrenzung der Ausprägung. Die Problemlokalisierung und die Ursachenanalyse im Rahmen der hier verfolgten Zielsetzung verlangt jedoch ein Informationsmodell aus dem sich präzise Kenntnisse über den auftragsbezogenen Bearbeitungsablauf ableiten lassen. Darauf aufbauend können zusätzlich Kennzahlensysteme zur systematischen und selektiven Datenverdichtung eingesetzt werden.

5.2.2 Modelle mit Schwerpunkt auf der Aufbauorganisation

Auf die Aufbauorganisation bezogene Informationssysteme stellen klassische Abbildungen der Fertigung dar und sind in hohem Maß auf die Führung und Steuerung des Systems ausgerichtet. Dazu gehören Modelle die betriebsmittelbezogenen Maschinendatenerfassungssystemen, kostenstellenorientierten Systemen des Rechnungswesens oder abschnittsbezogenen PPS-Systemen, zugrunde liegen [12,

50, 97]. Die Ausrichtung und der damit verbundene Informationsgehalt ist selektiv auf den jeweiligen Funktionsbereich beschränkt. Dementsprechend liegen hohe Informationsverdichtungsgrade vor, bzw. ist der Bearbeitungsablauf der Lose nicht in dem gewünschten Detaillierungsgrad darzustellen.

5.2.3 Unternehmensmodellierung mit CIM-OSA

Das CIM-OSA Projekt (CIM-open-system-architecture) hat zum Ziel eine europäische CIM-Architektur mit allen notwendigen Standardisierungen zu erstellen. Dazu wird eine ganzheitliche Unternehmensmodellierung unter Einbezug aller Geschäftsabläufe angestrebt. Die Arbeiten erfolgen im Rahmen des Projekts "Esprit-688" und sollen in 1994 zu einer ersten Version führen.

Das Modell nach CIM-OSA zielt auf die Beschreibung der realen Elemente eines Unternehmens. Dieses Modell soll zur Echtzeitsteuerung und -kontrolle sowie zur Planung, Entwurf und Optimierung von Geschäftsabläufen verwendet werden.

Ein Architektur-Rahmenwerk gibt die Leitlinien bei der Unternehmensmodellierung vor. Hierin enthalten sind sogenannte Architektur-Konstrukte in Form von Modellbausteinen, die eine strukturierte Abbildung, der aus den Unternehmenszielen resultierenden Anforderungen und der daraus abgeleiteten Geschäftsabläufe, zulassen. Die Geschäftsabläufe sollen unterschiedliche Detaillierungsgrade und Beziehungsebenen, ausgehend von "Kundenauftrag bearbeiten" bis hin zu Abläufen am einzelnen Betriebsmittel, umfassen [82].

Diese Systematik soll eine in diskreten Schritten ablaufende Planung des Gesamtsystems "Unternehmen" mit der zugehörigen CIM-Architektur bis auf den Detailablauf an der einzelnen Produktionsanlage ermöglichen. Ausgangspunkt sind dabei von der Unternehmensführung definierte Unternehmensziele, Hauptfunktionen, benötigte Ressourcen und Verantwortungsbereiche. Nachfolgend schließt sich die Detaillierung auf verschiedenen Ebenen an. Auf der Basis des geschaffenen Modells können Simulationen durchgeführt werden, die Fehlentwicklungen in der Modellierungsphase erkennen helfen und für bestehende Abläufe Kontrollen und Optimierungen ermöglichen [81].

Im Sinne der in dieser Arbeit verfolgten Ziele ist CIM-OSA als unternehmensglobales Simulationsmodell für die Aufbau- und Ablauforganisation mit wahlfreiem Detaillierungsgrad zu sehen. Die hierarchische Verfeinerung des Modells mit dem Ausgangspunkt "Unternehmensziele" entspricht dabei einer Vorwärtsplanung mit einer Generierung von Sollzuständen. Dem, durch einen Wandel der Randbedingungen, initiierten Handlungsbedarf zur Anpassung wird durch eine Neuformulierung der betroffenen Bereichsziele und durch eine Neuplanung Rechnung getragen.

Die optimale Vorwärtsplanung setzt jedoch voraus, daß alle Wirkungen und Korrelationen der einzelnen Abläufe bekannt und abbildbar sind. Eine weitere Anforderung betrifft die Fragestellung nach gesicherter Einhaltung der geplanten Sollvorgaben im Durchsetzungssystem. Beide Aspekte sind für komplexe, von hoher Dynamik und technologischem Anspruch geprägte Elektronikfertigungen mit Unsicherheit behaftet.

In dieser Arbeit ist eine bedarfsorientierte, auf die Fertigung eingegrenzte Vorgehensweise gewählt. Ausgehend von einer hochaufgelösten Protokollierung der IST-Bearbeitungsabläufe einzelner Lose in der Fertigung wird eine wahlfreie Verdichtung der IST-Daten zur Abstimmung mit den Bereichszielen angestrebt. Die aufgeführten Modellstrukturen weisen die gewünschten Eigenschaften in Teilelementen auf, decken jedoch das erarbeitete Anforderungsspektrum nicht ab. Es ist festzustellen, daß ein Informationsmodell zur Untersuchung und Bewertung ganzheitlicher, auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe nicht existent ist. Zu konzipieren ist eine Abbildung der Bearbeitungsabläufe in der Fertigung, deren Aufbau sich an den obengenannten Anforderungen orientiert. Im weiteren wird deshalb auf die erforderliche Datengrundlage für das Informationsmodell eingegangen.

5.3 Datenverfügbarkeit und -spezifikation

Die Datenspezifikation wird bestimmt durch die Anforderungen der Analysesystematik an die Dokumentation der Aufträge und den wirtschaftlich vertretbaren Datenerfassungsmöglichkeiten in der Fertigungspraxis. Sie muß damit dem Anspruch "so grob wie möglich, so exakt wie nötig" gerecht werden. Die Restriktionen, die sich aus den informationstechnischen Randbedingungen der Fertigung für das Informationsmodell ergeben, resultieren aus der heutigen Vorgehensweise hinsichtlich Zeitrechnung und Rückmeldung in der Fertigung. Diese Teilmodelle bilden die Ausgangsbasis für die aus dem Bearbeitungszyklus erhältlichen Informationen.

Im folgenden wird eine grobe Klassifikation der benötigten Informationsinhalte vorgenommen und mit der heutigen Datenverfügbarkeit auf der Ereignisebene abgestimmt. Anschließend erfolgt die detaillierte Spezifikation.

5.3.1 Klassifikation des Informationsbedarfs

Die Informationsmenge und -art im Modell definiert die späteren Auswertemöglichkeiten bei der Analyse der Bearbeitungsabläufe. Der Informationsstruktur kommt daher besondere Bedeutung zu. Die abzubildenden Informationsinhalte ergeben sich aus dem Anspruch einer detaillierten Protokollierung des Bearbeitungsablaufs eines Auftrags in der Fertigung und aus den Zielsetzungen bei der Untersuchung und Lokalisierung von Schwachstellen.

Zum Eingang dieses Abschnitts wurden bereits drei Informationsklassen angesprochen (vgl. Abb. 5.1). Sie betreffen die Informationen zu den Ereignissen in der auftragsbezogenen Bearbeitungssequenz, zur monetären Bewertung und zu Planungs-
vergleichen.

Ereignisdaten

Sie protokollieren und spezifizieren die Ereignisse im Verlauf der Bearbeitung in zeitlicher Reihenfolge. Ein Ereignis ist dabei immer mit einem Zustandswechsel des Auftrags verbunden. Beispiel für ein Ereignis ist der Rüstbeginn an einem definierten Arbeitsgang für einen Auftrag mit einer bestimmten Stückzahl an einem Betriebsmittel zur entsprechenden Zeit. Dementsprechend zerfallen Ereignisinformationen in die Untergruppen:

- Zeitdaten,
- Identifikationsdaten und
- Zustandsdaten.

Auftrag			Betriebsmittel	Betriebsmittel/Auftrag
Ereignisdaten			Bewertungsdaten	Plandaten
Zeitdaten	Identifikationsdaten	Zustandsdaten	Stammdaten	
Bewegungsdaten				

Bild 5.4: Datenstruktur für das auftragsbezogene Informationsmodell

Informationen zur Zeitebene beschreiben den zeitgebundenen Ablauf des auftragsbezogenen Fertigungsgeschehens. Identifikationsdaten werden zur Bestimmung der Arbeitsgänge, der Betriebsmittel als auch der Aufträge selbst benötigt. Zustandsdaten beschreiben das Ereignis und den Auftrag. Sie definieren den Beginn, bzw. das Ende eines spezifizierten Zustands durch das Ereignis und halten die Stückzahl des Auftrags fest.

Bewertungsdaten

Diese Informationen ermöglichen es, dem Auftrag zugeführte Leistungen, beispielsweise während des Auftragszustands "Bearbeitung", monetär zu bewerten. Hier sind aktuelle, mit dem Betriebsmittel in Zusammenhang stehende Kosteninformationen sowie Aussagen über Fertigungslöhne und die Materialkosten des Fertigungsauftrags erforderlich.

Planungsdaten

Der Einbezug von Planungsinformationen, wie sie im Arbeitsplan, in der Vorkalkulation der Aufträge oder in der Belegungsplanung der Werkstattsteuerung enthalten sind, befähigt die Auswerteebene zu SOLL-IST-Vergleichen und damit zur Überprüfung der Planbarkeit der Fertigung. Mit Hilfe der projektierten Bearbeitungs- und Prozeßvorbereitungszeiten sowie den Übergangszeiten aus der Belegungsplanung läßt sich ein SOLL-Auftragsdurchlauf erstellen, der einer gemessenen IST-Situation gegenübergestellt werden kann. Die in der Stufenkalkulation geplanten Materialmehrerbräuche gestatten die Relativierung der Ausschußsituation.

Wesentlich für die Konzeption des Informationsmodells ist die Kenntnis über die Änderungsrate der abzubildenden Informationsklassen. Die einschlägige Literatur unterscheidet hier zwischen Stamm- und Bewegungsdaten [2, 97, 124]. Zu den sich in relativ großen Intervallen verändernden Stammdaten gehören die Bewertungs- und Planungsinformationen. Ihr Umfang bleibt weitgehend konstant. Ereignisdaten sind aufgrund ihrer kontinuierlichen Entstehung den Bewegungsdaten zuzurechnen.

5.3.2 Informationstechnische Randbedingungen aus der Rückmeldung und Zeitrechnung

Die Rückmeldesystematik in der Fertigung ist primär auf die Bedürfnisse der Funktionen Produktions-, Werkstatt-, Transportsteuerung, Lohnabrechnung und Arbeitsvorbereitung ausgerichtet. Dementsprechend werden zwei Rückmeldesysteme für die querschnittsorientierte Auftragsrückmeldung und die betriebsmittelbezogene, auftragsneutrale Rückmeldung unterschieden [27, 56, 62].

- Querschnittsorientierte Auftragsrückmeldung (Abb. 5.5)

Die Intention besteht hier in der Bereitstellung von Auftragsinformationen über Fertigungsstand und Menge für die Steuerung zur Abstimmung mit der Belegungsplanung. Es wird dabei überprüft, ob vorgeplante Zeitpunkte eingehalten wurden oder ob eventuell eine Neuplanung erfolgen muß. Die Rückmeldung von Auftragsmengen ist dabei für die Belegungsplanung und zur frühzeitigen Erkennung von Fehlmengen wesentlich.

Zur Gewinnung der Informationen werden dem Betriebsmittel zugeordnete, externe Meßstellen für Ein- und Ausgang eingesetzt. Hier werden Zeitpunkt, Stückzahl und Identifikationsdaten des Auftrags erfaßt.

- Betriebsmittelbezogene, auftragsneutrale Rückmeldung (Abb. 5.6)

Insbesondere bei kapitalintensiven Produktionsanlagen hat sich, durch den Zwang zu hoher Auslastung, eine stark automatisierte Maschinendatenerfassung durchgesetzt. Ziel ist hier die Minimierung technischer und organisatorischer Störungen im maschinentechnischen Umfeld der Anlage.

Charakterisierend für die Maschinendatenerfassung ist die auftrags- und arbeitsgangneutrale Sammlung von Nutzungszeitanteilen und die Zuordnung von unmittelbaren Ursachen. Verwendet wird eine betriebsmittelinterne Meßstelle, die kontinuierlich Zeitpunkte für Beginn und Ende der Nutzungselemente erfaßt und mittels Sensorik oder Bedienereingabe spezifiziert.

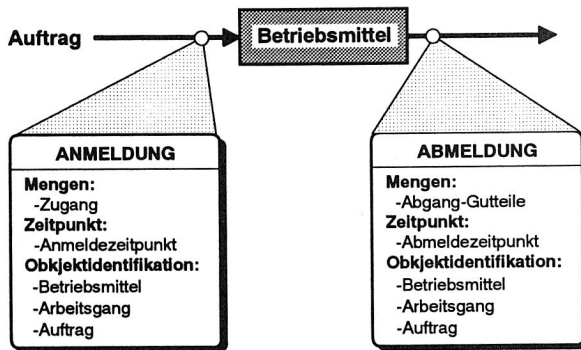


Bild 5.5: Gewinnung von auftragsbezogenen Ereignissen durch betriebsmittel-externe Rückmeldestellen

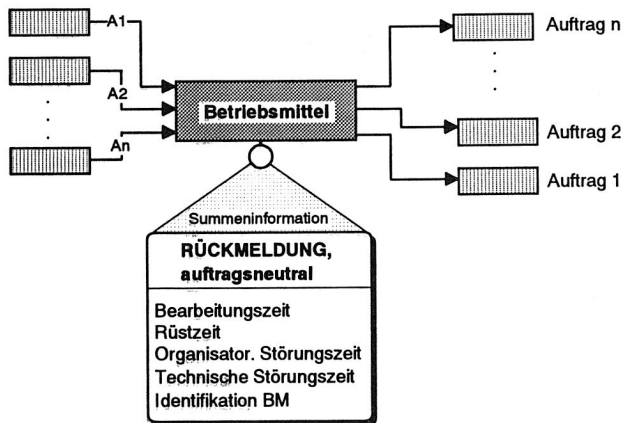


Bild 5.6: Gewinnung von maschinenbezogenen Daten durch betriebsmittelinterne Meßstellen

Störungen während der Bearbeitung und der Rüstaufwand zur Prozeßvorbereitung sind stark von betriebsmittelexternen Faktoren, wie der Produktgestaltung oder den im Arbeitsablauf des Auftrags vorhergehenden Arbeitsgängen, beeinflusst. Hohe Erwartungen hinsichtlich eines Interpretationsgewinns bei der Analyse werden daher

an die Zuordnung der Betriebsmittelzustände zum Auftrag und die Sichtbarkeit in dessen Bearbeitungsablauf gestellt.

Um dementsprechend einen möglichst lückenlosen Fertigungsablauf für den einzelnen Auftrag gemäß der vorgestellten Analysesystematik dokumentieren zu können, sind die beiden Vorgehensweisen der Rückmeldung zusammenzuführen (vgl. Abb. 5.7). Dazu ist insbesondere die Korrelation der Maschinendaten mit dem Auftrag und dem Arbeitsgang erforderlich.

Wirtschaftliche Randbedingungen bei der Erfassung der Daten stellen ein wesentliches Argument bei der Entscheidung für die Einführung oder den Ausbau der Betriebsdatenerfassungssysteme dar. Diese Tatsache muß auch bei der Konzeption des hier vorgestellten Modells berücksichtigt werden. Die Aufwendungen für leistungsfähige Rückmeldesysteme erstrecken sich nicht nur auf Investitionen und Anpassungen für die Hard- und Software, sondern erfordern erhebliche, kontinuierlich anfallende Betriebskosten. Dies wird am Beispiel einer realen Elektronikfertigung verdeutlicht. Im Monat sind ca. 1200 Aufträge mit einem durchschnittlichen Arbeitsplanumfang von 40 Arbeitsgängen zu berücksichtigen. Wird für den An- und Abmeldevorgang am einzelnen Betriebsmittel jeweils eine Minute angesetzt, so ergibt sich allein für Meldevorgänge ein Personalaufwand von 19.200 Stunden pro Jahr.

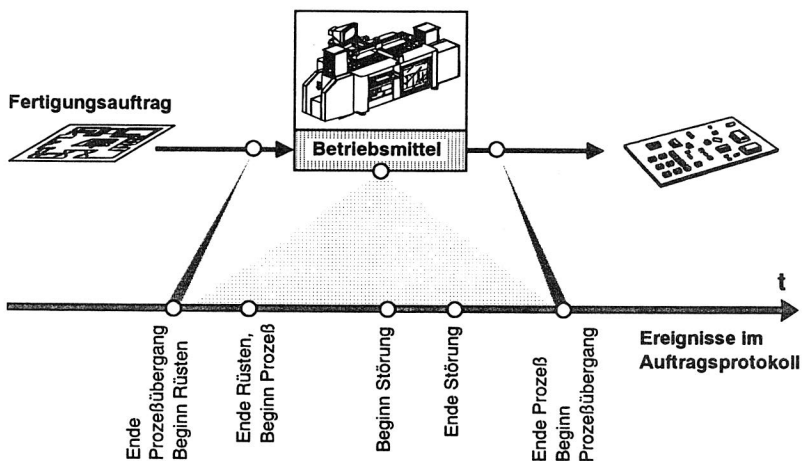


Bild 5.7: Zusammenführung betriebsmittelinterner und -externer Meßstellen zur Auftragsdokumentation

Die detaillierte Aufschlüsselung der Übergangszeiten für den Auftrag ist bei heutigen Betriebsdatenerfassungssystemen nicht vorgesehen. Die Ursache liegt in der geringen Verwendbarkeit für den projektierten, anlagenbezogenen Verwendungszweck

und in dem hohen, dafür anzusetzenden Aufwand. Die folgende Grafik stellt die, durch die heutige Rückmeldesystematik gegebene Vorverdichtung für die hier zu spezifizierende Auftragsdokumentation dar.

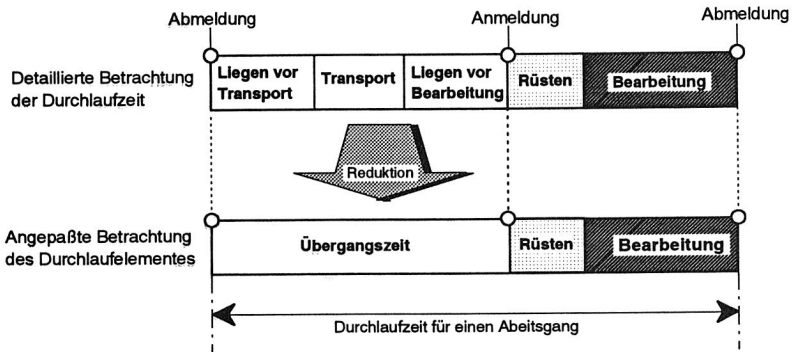


Bild 5.8: Reduktion auftragsbezogener Informationen zur Übergangszeit

Die Untersuchung der Zusammensetzung der Arbeitsvorgangs-Durchlaufzeit ergibt, daß sich die Übergangszeit zu 80 - 90% aus Liegezeit zusammensetzt [124]. Zusätzlich ergibt sich, daß in der Elektronikfertigung nur die Dauer der gesamten Übergangszeit zwischen zwei Arbeitsgängen von hoher Bedeutung ist. Ein direkter Bezug des Auftrags zum Transportvorgang hat, aufgrund der Gleichartigkeit des Materialtransports für alle Aufträge, keinen Interpretationsgewinn zur Folge und ist deshalb von untergeordneter Bedeutung. Die hier, aufgrund wirtschaftlicher Randbedingungen, angesetzte Vorverdichtung des Datenbestands führt daher nicht zu essentiellen Informationsverlusten.

Zeitrechnung und Schichtenmodell

Wesentliche Bedeutung für die Auftragsdokumentation besitzt die in der Fertigung gebräuchliche Zeitrechnung. Auf die Verringerung der theoretisch verfügbaren Nutzungszeit der Betriebsmittel und auf die eingeschränkte Beeinflußbarkeit von Durchlaufzeitanteilen der Aufträge wurde bereits in Kapitel 4 hingewiesen. Im folgenden soll die Frage beantwortet werden, welche Zeitrechnung für die im Informationsmodell abzubildenden Bearbeitungsabläufe heranzuziehen ist.

Bei der Berechnung von Auftragsdurchlaufzeiten in gregorianischen Kalendertagen ist es zufällig, ob Anteile der Durchlaufzeit eines Auftrags in arbeitsfreie Feiertage fallen. Wird vorausgesetzt, daß diese Zeitanteile - beispielsweise durch Tarifvereinbarungen für gesetzliche Feiertage - nicht beeinflussbar sind, entstehen für Aufträge mit theoretisch gleichen, logistischen Leistungsmerkmalen unterschiedliche Bemes-

sungsgrundlagen. Damit ist die Vergleichbarkeit der Aufträge gefährdet und das Informationsmodell verfälscht. Somit ist festzuhalten, daß nur in ihrer Nutzung veränderbare Zeitanteile zur Dokumentation des auftragsbezogenen Bearbeitungsablaufs berücksichtigt werden dürfen.

Ein ähnlicher Zusammenhang wie bei Feiertagen ergibt sich bei Fertigungen, die nicht in drei Schichten arbeiten, bzw. unterschiedliche Schichtenmodelle für einzelne Bereiche aufweisen. Durch die Berücksichtigung ungenutzter Schichten bei der Durchlaufzeitberechnung entstehen für die Aufträge differenzierbare zeitliche Ausprägungen.

Für die auftragsbezogene Analyse ist es erwünscht diese Auswirkungen erkennen und bewerten zu können. Sie muß sich von der Frage leiten lassen, welche Potentiale zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und der Produktivität gegeben sind und daher eine vollständige Bilanzierung der Auswirkungen als Entscheidungsgrundlage bereitstellen. Somit muß in diesem Sinne jede ungenutzte Schicht als bisher nicht wahrgenommenes Potential betrachtet werden. Da dieses Reservoir am Auftrag beispielsweise über die Kapitalbindung als auch am Betriebsmittel durch kontinuierlich berechnete Maschinenstundensätze bewertet wird, stehen geeignete Informationen zur Nutzungsentscheidung auch für Teilbereiche der Fertigung zur Verfügung. Die Berechnung der Durchlaufzeit und der Betriebsmittelnutzungszeit darf ungenutzte Schichten demzufolge nicht ausgrenzen, wie dies in herkömmlichen Vorgehensweisen vielfältig der Fall ist [2,8].

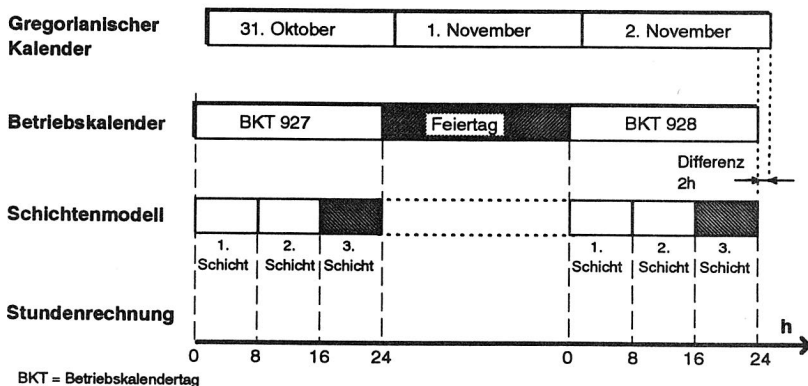


Bild 5.9: Transformation Gregorianischer Kalender - Betriebskalender - Schichtenmodell - Stundenrechnung

Im Allgemeinen weicht der zeitliche Zusammenhang der einzelnen Schichten des Arbeitstages von der normalen Zeitrechnung ab. So endet eine Spätschicht bei-

spielsweise um 22.00 Uhr, was eine Differenz zum Tageswechsel zur Folge hat. Bei der Zuordnung der einzelnen Schichten zum Betriebskalendertag ist es daher sinnvoll den Wechsel eines Betriebskalendertages mit dem Übergang zweier Schichten zeitlich zusammenzulegen. Es erfolgt somit eine Verschiebung des Betriebskalenders zur Anpassung an das Schichtenmodell.

Damit ist deutlich, daß für die Durchführung einer auftragsbezogenen Analyse der Betriebskalender einen geeigneten Maßstab darstellt und jeder zur Verfügung stehende Arbeitstag mit 24 Stunden zu bewerten ist (vgl. Abb. 5.9).

5.3.3 Datenspezifikation für das Informationsmodell

Die vorhergehenden Ausführungen stellen mit den informationstechnischen Restriktionen in der Fertigung und der Datenstrukturierung den Grundstock für die detaillierte Datenspezifikation dar.

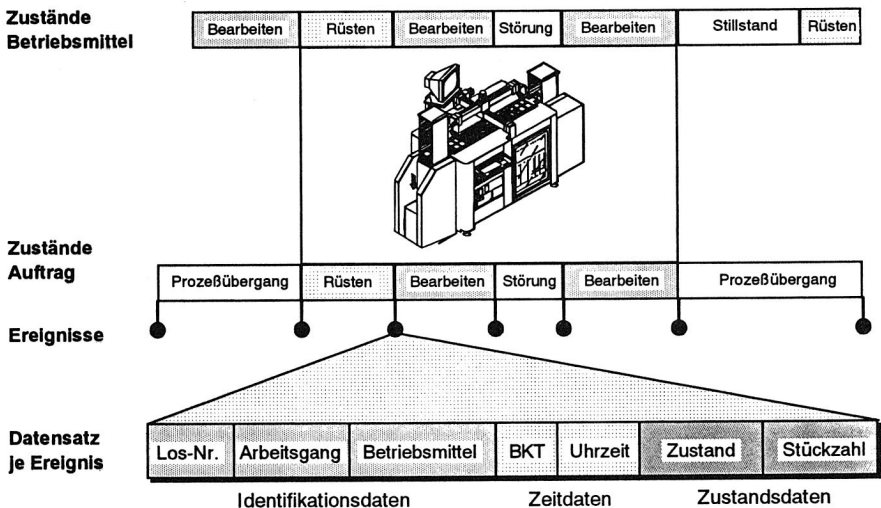


Bild 5.10: Datenspezifikation für die Ereignisse im Bearbeitungsablauf des Auftrags

Ereignisse

Ereignisse im Bearbeitungsablauf eines Auftrags beschreiben jeweils einen Zustandswechsel. Die für eine Analyse wesentlichen Zustände eines Auftrags "Prozeßübergang, Rüsten, Bearbeiten und Störung während Bearbeitung" befinden sich bis auf den Übergang zwischen zwei Bearbeitungsvorgängen im Wirkungsbe-

reich der Prozesse. Damit wird der Forderung nach einer Korrelation der Maschinenzustände und dem Auftrag entsprochen und die Verknüpfung der Ablauf- mit der Aufbauorganisation bewerkstelligt. Der einzige, nicht direkt an Aufträgen abbildbare Zustand den ein Betriebsmittel einnimmt, ist der Stillstand bzw. die Nichtnutzung. Diese anlagenbezogene Zustandsdauer ist jedoch prinzipiell unter Einbezug der zur Verfügung stehenden Gesamtzeit eruiert.

Die Abbildung 5.10 beschreibt den erforderlichen Datensatz zur Spezifikation eines Ereignisses im Auftragsprotokoll. Er strukturiert sich in Identifikations-, Zeit- und Zustandsdaten.

Identifikationsdaten

Identifikationsdaten sind in zweifacher Hinsicht unterscheidbar. Einerseits müssen bei der Protokollierung des Bearbeitungsablaufs der Auftrag sowie Arbeitsgänge und zugehörige Betriebsmittel identifiziert werden. Andererseits sind für die statistische Auswertung bei der Analyse Zugehörigkeiten der Aufträge zu Produkt und Produktgruppen sowie die Stellung der Betriebsmittel in der Aufbauorganisation wesentlich. Die Zugehörigkeit eines Loses (Fertigungsauftrag) zum Kundenauftrag und zum Produkt bzw. zur Erzeugnisgruppe ist durch die Losnummer gegeben. Die Zugehörigkeit eines Arbeitsgangs zum Betriebsmittel sowie dessen Stellung in der Aufbauorganisation wird durch die Arbeitsgang- und Anlagenkennung wiedergegeben.

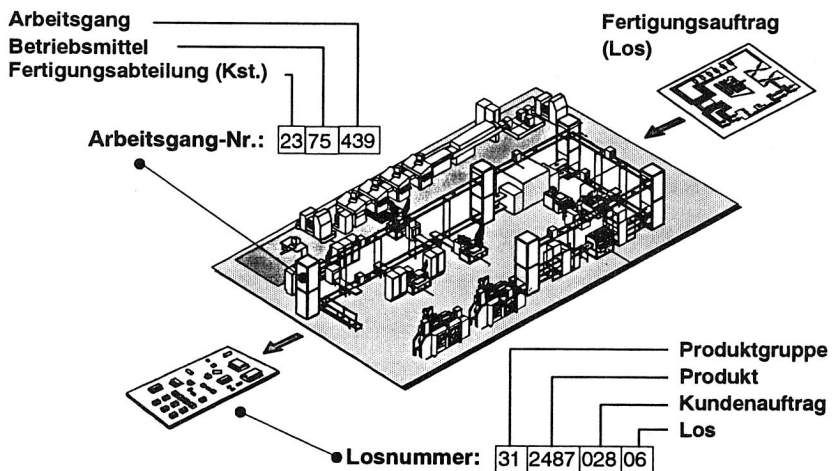


Bild 5.11: Verknüpfung der Aufbau- und Ablauforganisation bei der Quantifizierung der Bearbeitungsabläufe

Zeitdaten

Der zu protokollierende Zeitpunkt des Ereignisses erfolgt nach dem Betriebskalender und der hergeleiteten Stundenrechnung. Die erforderlichen Informationen sind hier der Betriebskalendertag und die Uhrzeit.

Zustandsdaten

Die Zustandsdaten beschreiben den Zustand des Auftrags. Dabei wird die augenblicklich gültige Auftragsstückzahl festgehalten, sowie der zum Ereigniszeitpunkt abgeschlossene Zustand des Auftrags. Am Beispiel der Abbildung 5.10 ist dies der Zustand "Rüsten".

Bewertungsdaten

Unter Bewertungsdaten sind aus der Sicht des Auftrags die Valuierungsfaktoren

- Materialaufwand,
- Maschinenstundensatz,
- variabler Kostensatz und
- Lohnkostensatz zusammenzufassen.

Ein dem Auftrag eigener Bewertungsfaktor sind die Materialkosten, die in der Elektronikfertigung bereits bei der Auftragsfreigabe in vollem Umfang anfallen und für die Ermittlung des jeweiligen Auftragswerts benötigt werden.

Der Maschinenstundensatz, ein derivatives Datum, berechnet sich aus der Gesamtheit der mit dem Betriebsmittel korrelierenden fixen Kosten sowie dem aktuellen, z. B. tagesgenauen Auslastungsgrad. Da dieser eine aus der Summe der Zustände aller Lose am Betriebsmittel abgeleitete Größe darstellt, verbleiben zur Aufnahme in das Informationsmodell die einzelnen, dem Betriebsmittel zugeordneten Kostengrößen. Der Betriebskostensatz stellt die bei der Bearbeitung anfallenden variablen Kosten dar. Kostensätze für Fertigungslöhner bewerten Personalleistungen für die Bedienung der Anlagen oder die direkte manuelle Bearbeitung des Auftrags.

Planungsdaten

Mit den Planungsdaten wird prinzipiell beabsichtigt den geplanten auftragsbezogenen Werteverbrauch hinsichtlich Zeit, Qualität und Kosten im Bearbeitungsablauf zu erstellen. Dazu ist ein analoger Informationszusammenhang wie bei den Ereignisdaten erforderlich.

Der produktbezogene Arbeitsplan enthält wesentliche Teile einer projektierten Bearbeitungssequenz für den Auftrag. Dies sind insbesondere Zeitvorgaben für Prozeß-

vorbereitung und Bearbeitung. Der Belegungsplan der Werkstattsteuerung repräsentiert neben den bearbeitungsgangbezogenen Zeitelementen des Arbeitsplans geplante Übergangszeiten für den Auftrag. Anhand der untersuchten Fertigungen mußte jedoch festgestellt werden, daß die Verfahrensweise hier, aufgrund der variantenzahlbedingt ungünstigen Planbarkeit der Anlagenbelegung, sehr grob durchgeführt wird. Die Planung der Anlagenbelegung erfolgt tages- bis wochen- genau und eignet sich damit nur bedingt für die hier verfolgte auftragsbezogene Intention (vgl. a. Kap. 7). Es muß davon ausgegangen werden, daß augenblicklich nur die projektierten Zeitfragmente des Arbeitsplans eine ausreichende Planungs- genauigkeit - beispielsweise für die detaillierte Überprüfung der Termintreue - bereitstellen.

Produktnummer 31 2487		Bezeichnung Inv. Ctrl. Unit			Gültigkeitsdatum ab: 16.10.1992	
lfd. Nr.	Arbeitsgang- bezeichnung	Arbeitsgang	Anlage	Anlagen-Bez.	Rüstzeit [min]	Bearbeitungs- zeit [/100 Stck.]
1	Modul bürsten	452	4718	Bürstmaschine	4,5	11,1
2	SN-Paste drucken	465	5299	Auto-Siebdruck	15	11,2
3	SMD Bestücken	455	8696	Auto-SMD	35	54
4	Löten	487	8693	Reflowofen	0	17,5
5	Sichtkontrolle	486	4329	QS-Bestückung	0	25
6	Nutzen brechen	477	4983	Arbeitsplatz 12	5	20,5
7	Waschen	489	4262	Waschanlage	0	12
--	--			--		
--	--					

Bild 5.12: Ausschnitt aus dem Arbeitsplan eines Fertigungsauftrags

Kostenelemente für geplante Leistungen der Betriebsmittel und des Fertigungs- personals sowie konzipierter Materialmeherverbrauch sind Bestandteile der Vor- oder Stufenkalkulation. Sie werden übernommen, um die tatsächliche Kostenbelastung des Auftrags der projektierten gegenüberzustellen, bzw. um die geplante Auschuß- situation im Bearbeitungsablauf zu verifizieren.

Zusammenfassend ergibt sich der in Abbildung 5.13 dargestellte Datenbedarf. Ereignisdaten sind dabei für jedes Ereignis aller Aufträge zu dokumentieren. Die Bewertungs- und Plandaten sind je nach Zugehörigkeit pro Betriebsmittel bzw. je Produkt einmalig im Rahmen der Gültigkeitsdauer zu erfassen.

Ereignisdaten			Bewertungsdaten	Plandaten
Zeit	Identifikation	Zustand		
je Auftrag	Tag, Zeitpunkt Losnummer Arbeitsgangkennung Betriebsmittelkennung Zustand Stückzahl		Materialkosten	Arbeitsplan: Bearbeitungs- sequenz Rüst-, Bearbeitungszeiten
je Betriebsmittel			Fixkostenanteile var. Kosten	Stufenkalkulation: Ausschuß Rüst-, Bearbeitungskosten
			Personalkosten Raumkosten	
			Fertigungslohn	
Bewegungsdaten			Stammdaten	

Bild 5.13: Zusammenfassung der Datenspezifikation für das Informationsmodell

5.4 Aufbau des auftragsbezogenen Informationsmodells

5.4.1 Darlegung der Grundstruktur

Der ermittelte Informationsbedarf ist nun in ein Modell unter Berücksichtigung der erforderlichen Relationen zu integrieren. Wesentliches Element sind hier die Ereignisdaten, da sie den zeitlichen und mengenbezogenen IST-Bearbeitungsablauf des Fertigungsauftrags detailliert wiedergeben. In der Abbildung 5.14 wird die Grundstruktur des Informationsmodells verdeutlicht.

Diese Darstellung wurde gewählt, um die Relationen und Zugehörigkeiten anschaulich aufzeigen zu können. Die Ereignisdaten der Aufträge werden entsprechend dem Entstehungsort den Arbeitsgängen, bzw. den Betriebsmitteln zugeordnet. Damit ist die Beibehaltung der Relation zwischen Fertigungsauftrag, Arbeitsgang und Betriebsmittel gewährleistet.

Arbeitspläne und Stufenkalkulationen sind auftragsneutral und dem Überbegriff Produkt zugehörig. Die Bewertungsdaten sind dem Betriebsmittel eigen und werden über die Arbeitsgangkennung mit der Bearbeitungssequenz des Fertigungsauftrags verknüpft.

Die Stammdaten des Betriebsmittels dienen zur monetären Bewertung des Auftragsdurchlaufs über einen aktuellen Maschinenstundensatz. Die Summe der Ereignis-

nisse aller Aufträge an einem Betriebsmittel charakterisieren dessen Nutzung und sind damit Basis für die Ermittlung aktueller Auslastungsgrade.

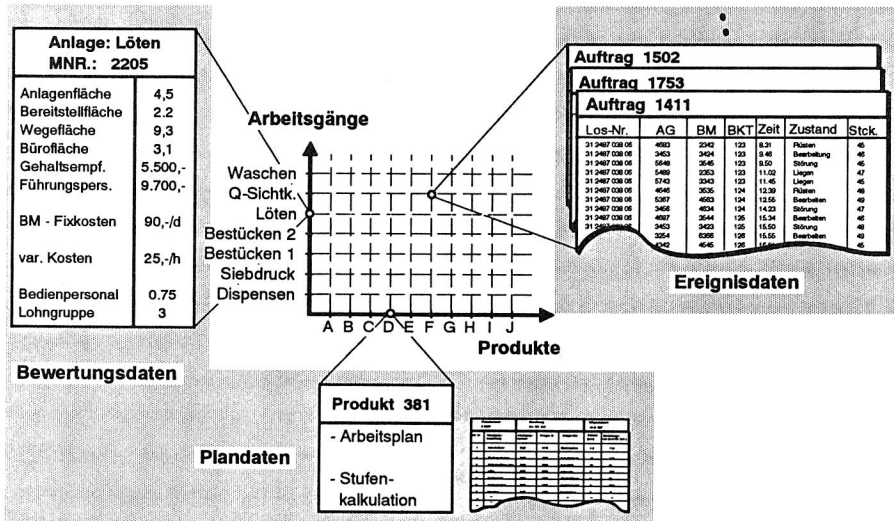


Bild 5.14: Grundstruktur des Informationsmodells

Der zeitliche Auftragsdurchlauf ist anhand der Sequenz von Ereignisdaten nachvollziehbar. Am Beispiel eines Loses des Produkts F erfolgt die Ordnung der Ereignisse vertikal analog den an der Bearbeitung beteiligten Betriebsmitteln und führt so zur Zustandssequenz des Fertigungsauftrags (vgl. Abb. 5.15).

Das vorliegende Informationsmodell stellt in Anbetracht der vorgenannten Voraussetzungen die niedrigste Datenverdichtungsstufe und damit die grundlegende Informationsbasis dar. Ereignisse sind, bei isolierter Betrachtung, nur bedingt interpretationsfähig. Im wesentlichen werden die Zustände der Lose in zeitlicher Abfolge mit jeweiliger Dauer benötigt. Die Erweiterung des Informationsmodells um die Dimension der Zustände ist daher ein wichtiger Schritt und ist nachfolgend durchgeführt.

5.4.2 Erweiterung um die Ebene der Auftragszustände

Ausgehend von der spezifizierten Grundstruktur erfolgt die Ermittlung der Auftragszustände. Die Bildung der Zustände geschieht durch zeitbezogene Differenzenbildung zwischen den Ereignissen eines Auftrags. Zustände sind dabei in ihrer Dauer durch relative Zeitaussagen gekennzeichnet. Die Abhängigkeit des Auftragszustands vom absoluten Zeitstrahl bleibt über das Informationsmodell erhalten.

Die Verknüpfung der Auftragszustände mit den auftragsbezogenen Ereignissen realisiert ein Informationsmodell, wie es folgende Grafik verdeutlicht.

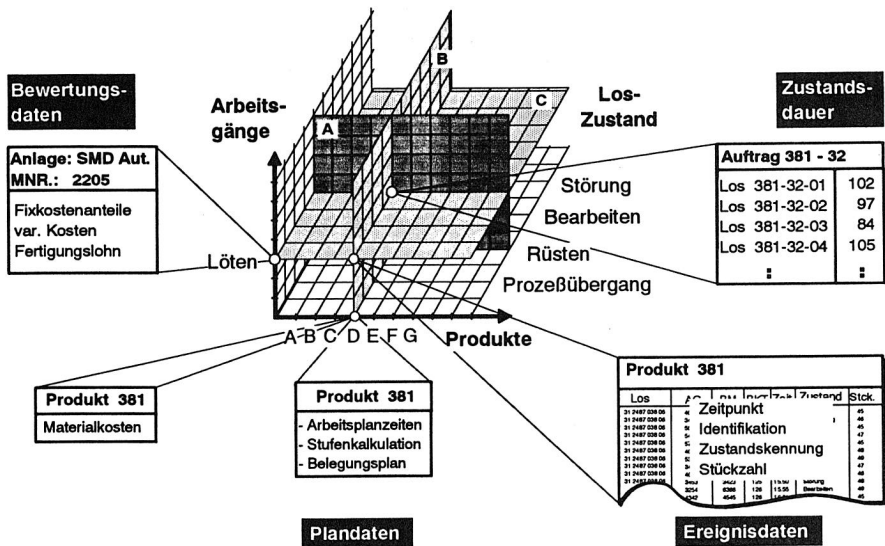


Bild 5.15: Mehrdimensionales, auftragsbezogenes Informationsmodell

Mit Hilfe der integrierten Zustände werden Ebenen geschaffen, die Attribute für die Betriebsmittelnutzung und für den Bearbeitungsablauf der Aufträge in wahlfreien Verdichtungsstufen und unter beliebigem Objektbezug wiedergeben können. Korrespondierend zur Abbildung 5.16 werden die drei Dimensionen nach

- Zustandsebene (A),
- Produktebene (B) und
- Betriebsmittelebene (C) benannt.

5.4.3 Einzeldimensionen des auftragsbezogenen Informationsmodells

Die unterscheidbaren Ebenen enthalten die Zustände und ihre Spezifikation für alle bearbeiteten Lose entsprechend ihren Relationen zu Produkt und zu Betriebsmittel für den Einsatzzeitraum des Informationsmodells. Die Kreuzungspunkte in dem dreidimensionalen Modell repräsentieren die Zustandsspezifikationen aller Lose im betrachteten Zeitabschnitt. Für die anschauliche Verdeutlichung der Aussagemöglichkeiten wird jeweils ein Fertigungsauftrag (Los) der Produkte betrachtet.

Zustandsebene

Diese Dimension am Beispiel des Rüstens gibt die Relation zwischen den Losen verschiedener Produkte und den Anlagen wieder. Markierte Punkte auf der vertikalen Linie eines Produkts zeigen die Betriebsmittel, die an der Bearbeitung des Loses beteiligt waren. Diese Punkte stellen die Rüstzeit für ein Los eines Produktes an einer Bearbeitungsstation dar. Die vertikale Summe über die Loszustände ergibt daher die Gesamtrüstzeit, die im Rahmen des auftragsbezogenen Bearbeitungsablaufs aufgewendet wurde.

Werden alle bearbeiteten Lose betrachtet, so ergibt die vertikale Summe die Gesamtrüstzeit an der Anlage. Damit wird deutlich, daß beliebige Verdichtungsstufen ermöglicht werden. So ist die Anzahl der Lose, der Betriebsmittel und der Produkte beliebig zu variieren. Im Extremfall wird der gesamte Rüstzeitaufwand für die ganze Fertigung und für alle Lose durch Addition über die Ebene ermittelt.

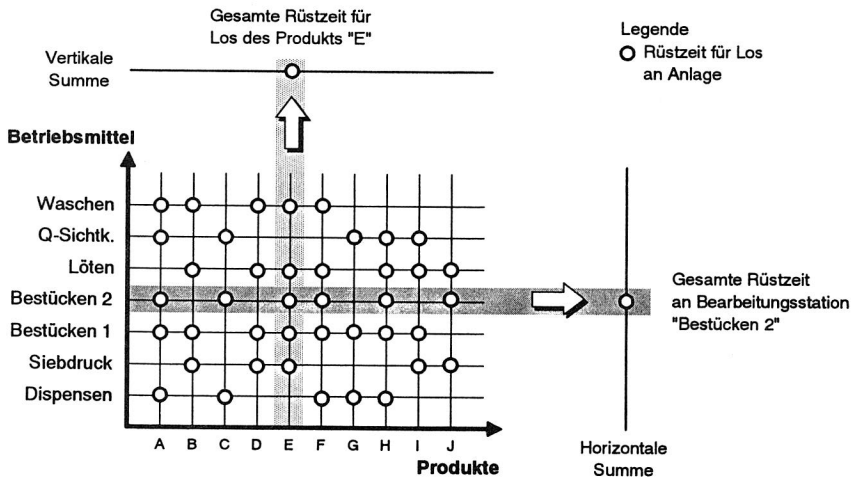


Bild 5.16: Zustandsebene am Beispiel der Rüstzeit

Produktebene

Die Korrelation der Betriebsmittel mit den möglichen Loszuständen läßt die zeitliche Verfolgung eines Loses durch die Fertigung zu. Die Querbetrachtung an einer Anlage ergibt über die einzelnen Zustände die Durchlaufzeit an der Anlage. Beginnend mit der Prozeßübergangszeit werden Zeitanteile für Rüsten, Bearbeiten und Störung aufgezeigt. Werden alle Zustände summiert ergibt sich die Losgesamtdurchlaufzeit.

Die vertikale Sichtweise führt zur Darstellung der Gesamtsumme eines Loszustands im Bearbeitungsablauf. Sie ist hier beispielhaft an dem Zustand "Bearbeiten" darge-

legt. Über die Anzahl betrachteter Lose und beliebiger Ausschnitte aus der Ebene sind wahlfreie Verdichtungsstufen realisierbar.

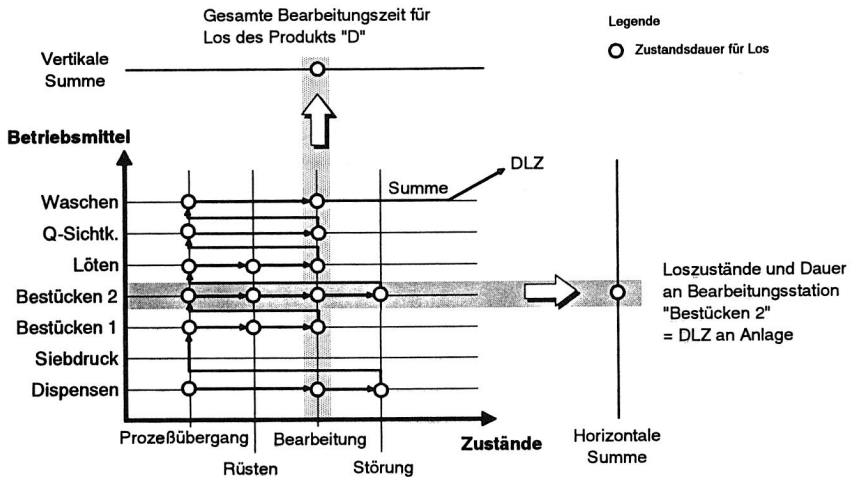


Bild 5.17: Produktebene am Beispiel des Produkts "D"

Betriebsmittelebene

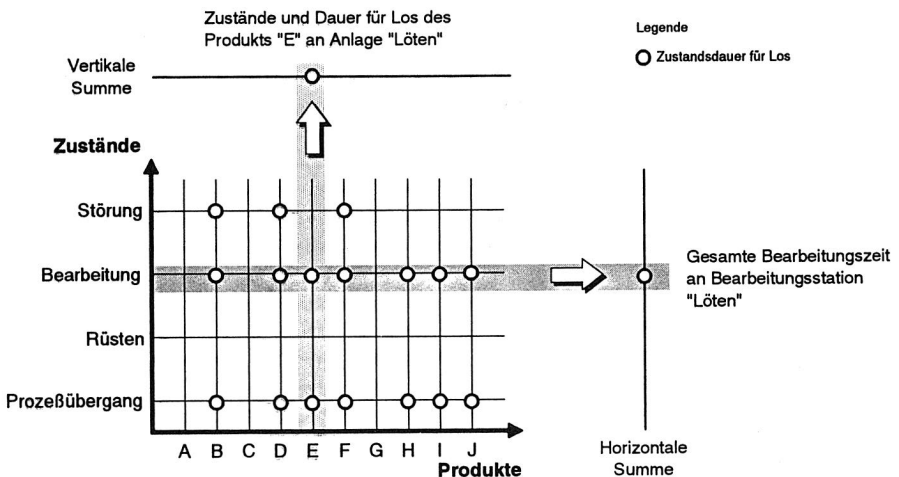


Bild 5.18: Betriebsmittelebene am Beispiel der Anlage "Löten"

Die Ebene der Betriebsmittel beinhaltet die Zustände der Lose verschiedener Produkte an einer Anlage. Die reine Bearbeitungszeit läßt sich durch Quersummen ermitteln. Eine Addition über die Zustände "Rüsten, Bearbeitung und Störung" aller Lose ergibt die gesamte Belegungszeit im betrachteten Zeitraum. Der Prozeßübergang von der vorherigen Bearbeitungsstation ergibt einen Überblick über die Warteschlange vor dem gewählten Prozeß und damit Aussagen über den Umlaufbestand.

Mit diesen Punkten ist nachgewiesen, daß dieses Informationsmodell geeignet ist

- den Bearbeitungsablauf in wahlfreier Detaillierungsstufe für einzelne oder mehrere Lose wiederzugeben,
- die Anteile der Betriebsmittelnutzung losbezogen oder produktneutral zu ermitteln sowie
- die Verknüpfung der Ablauf- und Aufbauorganisation herzustellen.

5.5 Integration des Informationsmodells in die EDV-Struktur der Fertigung

Die computergestützte Datenerfassung und -übergabe stellt eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz dieses Informationsmodells dar. Der Integration dieser Datenabbildung in die Struktur der rechnerintegrierten Datenverarbeitung der Fertigung muß daher eine hohe Bedeutung zugemessen werden.

5.5.1 Schnittstellen des Informationsmodells zu CA-Komponenten

Insbesondere die hohe Anzahl kontinuierlich anfallender Ereignisdaten setzt deren rechnergestützte Erfassung und Übergabe an das Informationsmodell voraus. Diese Informationen können aus der Betriebsdatenerfassung übernommen werden [11, 48].

Plandaten, wie Arbeitspläne und Stufenkalkulationen entstehen im Bereich der Arbeitsplanung und besitzen einen mittelfristigen Gültigkeitszeitraum. CAP-Systeme verwalten Arbeitspläne und ermitteln rechnergestützt Vorkalkulationen für die Fertigungsaufträge [1]. Der Umfang der Datensätze stellt die rechnerintegrierte Datenübergabe als wünschenswert dar.

Belegungspläne sind Ergebnis der Feinplanung in der Werkstattsteuerung und können aus dem CAM-System übernommen werden. Entsprechend dem Funktionscharakter ergibt sich eine kontinuierlich anfallende Informationsmenge, deren benötigte Anteile nur rechnergestützt übernommen werden kann.

Bewertungsdaten, wie beispielsweise detaillierte Kosteninformationen zu den Betriebsmitteln, sind Gegenstand der Anlagenbuchhaltung. Der Umfang ist begrenzt und die Gültigkeitsdauer als mittel- bis langfristig anzusehen. Eine rechnergestützte Übernahme ist nicht dringend erforderlich. Gegenüber einer manuellen Eingabe ist sie daher nur durch eine minimierte Übertragungsfehlerquote zu begründen.

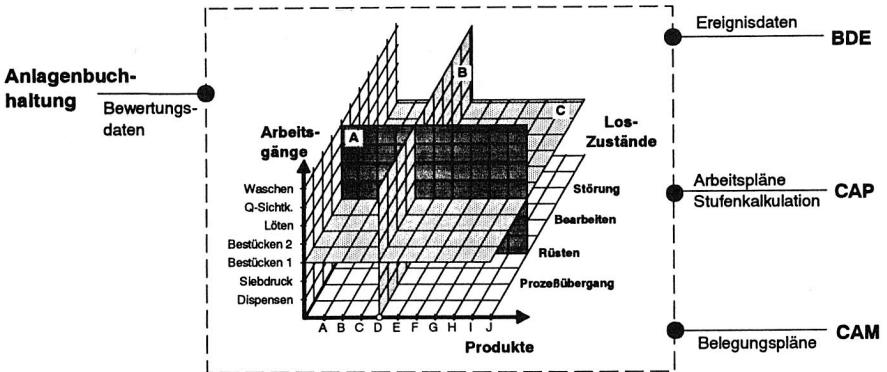


Bild 5.19: Datenquellen für das Informationsmodell

5.5.2 Anforderungen an die informationsliefernden Systeme

Die Betriebsdatenerfassung stellt einen Überbegriff für die gesamte Datenakquisition im Unternehmen dar. Auf die Fertigung bezogen wird darunter die Erfassung von Maschinen-, Prozeß-, Personal- und Rückmeldedaten der Fertigungsaufträge verstanden. Die Anforderungen des Informationsmodells betreffen die Maschineneignisse und die Auftragsrückmeldungen. Sie sind zu einer losbezogenen Meldung der Ereignisse zusammenzuführen.

6. Ausbau des Modells zum auftragsbezogenen Informationssystem

Nachdem das Informationsmodell als Datengrundlage im vorhergehenden Kapitel entwickelt wurde, werden nun geeignete Auswertesystematiken und die Bediener-schnittstelle qualifiziert.

Das Informationsmodell stellt auftragsbezogene Zeitelemente, -punkte und Zustände für bearbeitete Lose sowie Bewertungs- und Plandaten zur Verfügung. Diese erlauben jedoch, isoliert betrachtet, noch keine Interpretation. Nur die Herstellung des Zusammenhangs zum Bearbeitungsablauf eines Loses und die Korrelation zu anderen Fertigungsaufträgen, bzw. zu Betriebsmitteln kann einen, für gesicherte Aussagen hinreichenden Bezug herstellen. Die dazu erforderlichen Auswertemethoden sind gemäß den hier gesetzten Analysezielen am Bearbeitungsablauf der Fertigungslose zu orientieren. Die Vielzahl möglicher Auswerterichtungen erfordert eine Systematisierung entsprechend der Datenverdichtung.

6.1 Dimensionen der Auswertung

Das Informationsmodell beinhaltet isolierte Ereignisdaten und Zustände aller bearbeiteten Lose in zeitlicher Reihenfolge ihres Entstehens. Die Wiederherstellung des jeweiligen Bearbeitungsablaufs der einzelnen Lose setzt die Ordnung der losbezogenen Ereignisse und die Sichtbarmachung der Relationen voraus. Das Ergebnis ist ein zeitlich, mengenmäßig und in monetärer Hinsicht rekonstruierter Bearbeitungsablauf für die einzelnen Fertigungsaufträge. Darauf aufbauend werden einzelne Leistungsattribute verschiedener Lose entsprechend der jeweiligen Analysezielsetzung zusammengefaßt und statistisch ausgewertet.

Die Auswertung des Datenbestands im Informationsmodell wird daher in zwei Dimensionen eingeteilt:

- Herstellung der Ordnung und der Beziehungen in den Bearbeitungsabläufen einzelner Lose ohne Datenkompression
 - Zeitlicher Bearbeitungsablauf mit Zuordnung zu Betriebsmitteln und Loszuständen
 - Entwicklung der Losgröße im Bearbeitungsablauf
 - Aufbau der Wertentwicklung im Bearbeitungsablauf
- Zielgerichtete Datenverdichtung durch selektive Auswahl von losbezogenen Leistungsattributen und durch statistische Auswertung über eine wahlfreie Anzahl von Losen und Bearbeitungsängen
 - Wahl des Losattributs
 - Definition der zu betrachtenden Lose und Arbeitsgänge (Auswerteebene)

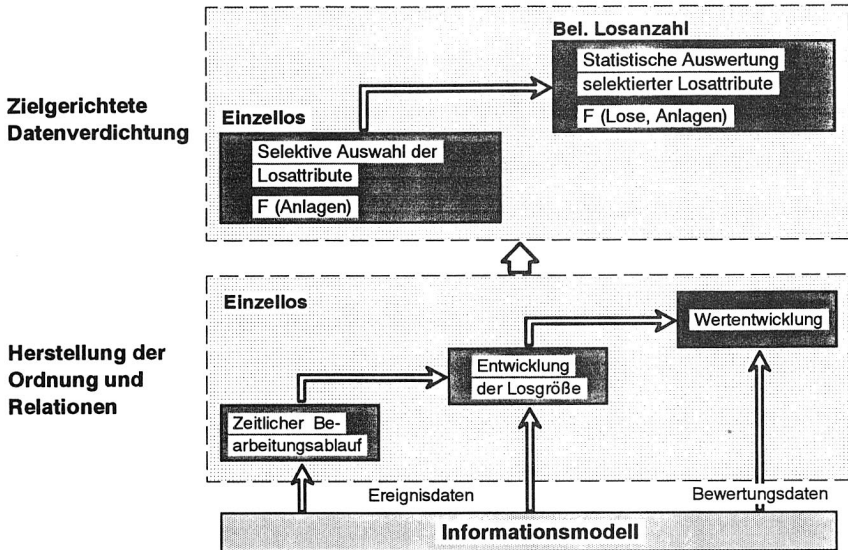


Bild 6.1: Auswertedimensionen des auftragsorientierten Informationsmodells

Die Datenverdichtung bei einem einzelnen Los erfolgt durch die Selektion eines losbezogenen Leistungsattributs, durch dessen arbeitgangbezogene Auswertung und durch die Zusammenfassung über einen wahlfreien Abschnitt im Bearbeitungsablauf. Für ein Los ist diese Auswertung eine Funktion des Bearbeitungsabschnitts und des selektierten Leistungsattributs.

Auswertung eines Loses = $F(\text{Leistungsattribut, Bearbeitungsabschnitt})$

Am Beispiel des Losattributs "Prozeßübergangszeit" ist dies die arbeitgangbezogene Darstellung dieser Werte und deren statistische Zusammenfassung.

Auswertungen höherer Ordnung erfassen eine wahlfreie Menge an Losen. Dabei wird ein losbezogenes Leistungsattribut für die Arbeitsgänge eines Bearbeitungsabschnitts der einzelnen Lose selektiv ermittelt und statistisch ausgewertet. Dies ist eine Funktion der ausgewählten Lose, Betriebsmittel und Leistungsattribute.

Auswertung mehrerer Lose = $F(\text{Leistungsattribut, Bearbeitungsabschnitt, Lose})$

Bei der Auswertung des Datenbestands im Informationsmodell ist es vom Anwender und dessen Analysezielsetzung abhängig, welche Auswertedimensionen und Losattribute gefordert werden. Seine Aufgabe besteht darin, die Wahl der Variablen in den Funktionen zu treffen und damit die Datenverdichtung und die Thematik zu bestimmen. Die Berechnungsebene ist so zu gestalten, daß wahlfreie Zugriffe ermöglicht werden.

6.2 Berechnung der Attributverläufe für einzelne Lose

Die Grundlage für höherwertige Auswertungen ist die Wiederherstellung des Bearbeitungsablaufs eines Einzelloses aus dem Datenbestand des Informationsmodells. Der losbezogene Bearbeitungsgang ist arbeitgangbezogen zu bestimmen hinsichtlich der Werte: Zeitverbrauch und Termine, Mengen und Kosten.

6.2.1 Zeitbedarf des Loses

Die wichtigste Ordnungsfunktion besteht in der Aneinanderreihung der losbezogenen Ereignisse. Damit wird der zeitliche Bearbeitungsablauf des einzelnen Fertigungsauftrags mit den Zuordnungen zu den Betriebsmitteln und zu den Zuständen reproduziert.

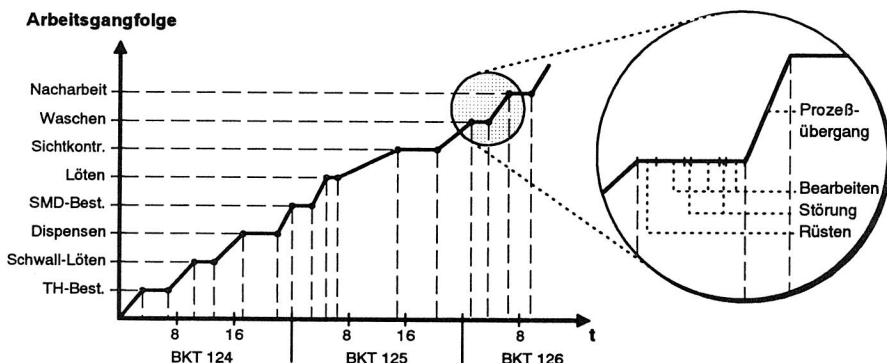


Bild 6.2: Reproduktion des zeitlichen Bearbeitungsablaufs eines Loses mit den Relationen zu Betriebsmitteln (Arbeitsgängen) und Zuständen

Die im folgenden dargestellten Algorithmen erlauben die Ermittlung des zeitlichen Bearbeitungsablaufs aus der im Informationsmodell abgelegten Historie.

<p>Zeitlicher Bearbeitungsablauf eines Loses:</p> $ZEIT_{i,z} = \sum_{i=1}^i \sum_{z=1}^z t_{i,z}$	<p>i Index für Betriebsmittel (Arbeitsgang)</p> <p>z Index für Loszustand</p> <p>$t_{i,z}$ Zeitdauer des Loszustands z an Arbeitsgang i</p> <p>$ZEIT_{i,z}$ Zeitbedarf des Loses in Abhängigkeit von Bearbeitungsgang i und Zustand z</p>
--	---

<p>Durchlaufzeit an einem Arbeitsgang:</p> $DLZ_i = \sum_{z=1}^4 t_{i,n,z}$ <p>Gesamte Rüstzeit des Loses:</p> $RT_i = \sum_{i=n}^m t_{i,z=Rüsten}$	<p>DLZ_i Durchlaufzeit des Loses am Betriebsmittel i als Summe über die Zustände "Rüsten, Störung, Bearbeiten, Prozeßübergang"</p> <p>RT_i Summe der durch das Los beanspruchten Rüstzeit an den Arbeitsgängen n bis m</p>
---	---

6.2.2 Die losbezogene Bestandsführung

Die Bestandsführung dient der Verfolgung und Überwachung der Losgröße im Verlauf der Bearbeitung des Fertigungsauftrags. Während der Bearbeitung nimmt die ursprüngliche Losgröße zum Auftragsfreigabetermin durch auftretende Fehlmengen in Form von Ausschuß an den einzelnen Arbeitsgängen ab.

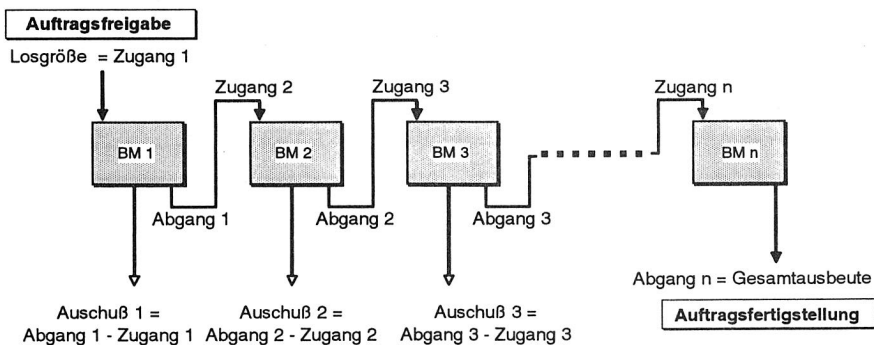


Bild 6.3: Berechnungsgrößen zur Bestandsführung im Losdurchlauf

Entsprechend der Rückmeldesystematik werden bei der An- und Abmeldung des Loses am jeweiligen Betriebsmittel die aktuelle Losgröße an das Informationsmodell übergeben. Damit wird der Ausschuß an diesem Arbeitsgang als Differenz zwischen Zugangs- und Abgangslosgröße ermittelt.

Wird der gesamte Bearbeitungsablauf eines Loses betrachtet so ergibt sich unter der Prämisse, daß im Rahmen der Prozeßübergänge kein Ausschuß entsteht, eine Informationsredundanz. Die abgemeldete Losgröße an einem vorhergehenden Prozeß ist dabei gleich der angemeldeten am nachfolgenden Arbeitsgang. Damit ist die Auswertesystematik der Bestandsführung reduzierbar auf die Ereignisse, die den Zustandswechsel von Bearbeiten zu Prozeßübergang charakterisieren.

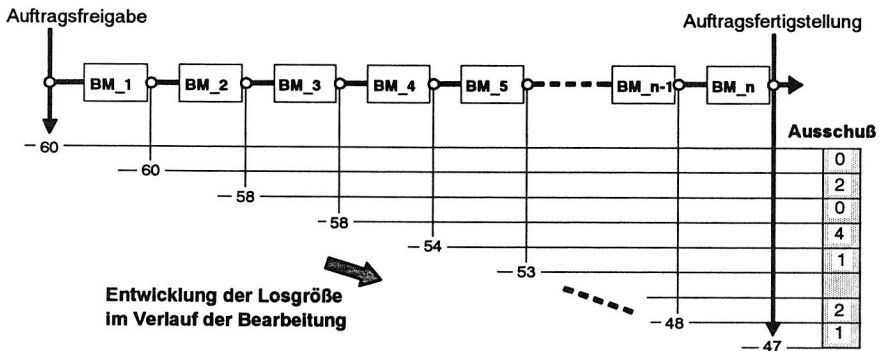


Bild 6.4: Abnahme der ursprünglichen Losgröße durch Ausschub im Bearbeitungsablauf des Fertigungsauftrags

Mathematisch formuliert ergibt sich damit nachfolgender Zusammenhang für die Entwicklung der Losgröße im Verlauf der Bearbeitung.

Losgrößenentwicklung eines Fertigungsauftrags:	
$STCK_i = STCK_{i=0} - \sum_{i=1}^i STCK_i$	i Index für Betriebsmittel (Arbeitsgang)
Ausschuß:	z Index für Loszustand
$AUS_i = STCK_i - STCK_{i-1}$	$STCK_i$ Entwicklung der Losgröße in Abhängigkeit vom Arbeitsgang i
	AUS_i Ausschub des Loses bei Bearbeitungs-gang i

6.2.3 Differenzierte Wertsteigerung im losbezogenen Bearbeitungsablauf

Der zeitliche Bearbeitungsablauf und die Entwicklung der Losgröße stellt die Grundlage für die monetäre Bewertung des Fertigungsdurchlaufs zur Bildung der Wertentwicklung eines Loses dar. Das Ziel ist hierbei die Ermittlung und die zeitliche Zuordnung dem Los zugeführter Leistungen in monetärer Form sowie die Visualisierung loseigener Kostenfaktoren.

In einer ersten Ordnungsfunktion werden, basierend auf dem zeitlichen Bearbeitungsablauf des Loses, die zugeführten Leistungen entsprechend ihrer Erbringungsreihenfolge systematisiert und dem Los zugeordnet. In Anlehnung an Kap. 4 sind unter zugeführten Leistungen

- Materialkosten
- Aufwendungen und Zusammenhangskosten für die Nutzung der Betriebsmittel sowie

- Fertigungslöhne für das bedienende oder am Los arbeitende Personal zusammenzufassen.

Für die Ermittlung des Wertsteigerungsverlaufs des Loses sind Kapitalbindungskosten mit in Betracht zu ziehen. Hierfür ist die Kenntnis der zugeführten Leistung und der Zeitverhältnisse zwingende Voraussetzung. In einer zweiten Stufe wird daher der zeitabhängige, loseigene Wert Kapitalbindung errechnet und daraus der Faktor

- Kapitalbindungskosten für das Los abgeleitet.

Die bisherigen, auf das Gesamtlos bezogenen Betrachtungen sind losgrößenneutral. Eine Vergleichbarkeit mit anderen Fertigungsaufträgen ist aufgrund unterschiedlicher Losgrößen nicht gegeben. In einem dritten Schritt ist daher der Einbezug des Stückzahlverlaufs eines Loses notwendig. Damit ist die Komparabilität herzustellen, als auch die

- Aufwendungen für Ausschuß

zu visualisieren, da sich der je nach Bearbeitungsstand ergebende Gesamtwert eines Loses bei Stückzahlrückgang auf die verbleibenden Baugruppen überträgt. Das Ergebnis ist der Wertsteigerungsverlauf für eine Baugruppe des betrachteten Loses (vgl. Abb. 6.6).

Diese drei Stufen zur Bildung des stückbezogenen Wertsteigerungsverlaufs eines Loses im Rahmen seiner Bearbeitung wird im folgenden dargelegt.

Zugeführte Leistung an einem Arbeitsgang

Der primäre Anteil entstehender Kosten wird durch die Leistungen der Bearbeitungsgänge verursacht. Da das erforderliche Material bereits bei der Freigabe des Fertigungsauftrags bereitgestellt wird, erfolgt die Zuordnung der zugehörigen Aufwendungen bereits beim Start des Loses. Die an einem Arbeitsgang für ein Los erbrachte Leistung reduziert sich damit auf die im K_{MH} enthaltenen Fixkosten des Betriebsmittels, den variablen Betriebskostensatz und die Fertigungslohnanteile. Der monetäre Wert dieser drei Faktoren bemißt sich für das Los anhand der Belegungsdauer am Betriebsmittel.

Der variable Kostenanteil der Bearbeitungsstationen ist, durch die gleichartige Bearbeitung der Baugruppen, vom Baugruppentyp unabhängig. Eine produktspezifische Differenzierung ist daher nicht erforderlich.

Der Maschinenstundensatz ist, mit Rücksicht auf die Beurteilungsfähigkeit hinsichtlich Verschiebungen bei den Auslastungsgraden der Betriebsmittel, tagesweise zu ermitteln.

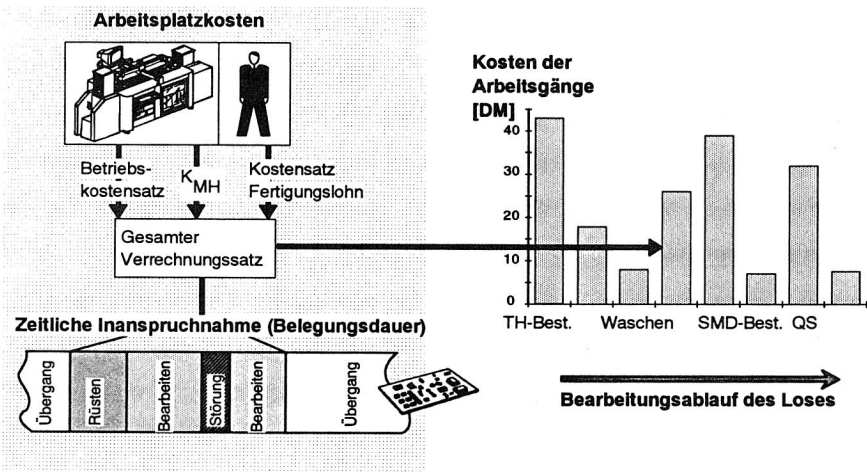


Bild 6.5: Berechnung und losbezogene Zuordnung der Bearbeitungskosten an den Arbeitsgängen

Die nachfolgenden Algorithmen geben die, dem aktuellen Auslastungsgrad entsprechenden gesamten "Dienstleistungskosten" eines Bearbeitungsgangs wieder. Die Höhe der auf das Los verrechneten Kosten richtet sich nach der Dauer der Inanspruchnahme des Betriebsmittels durch den Fertigungsauftrag. Hierfür wird der zeitliche Bearbeitungsablauf des Loses herangezogen.

<p>Kosten der Bearbeitung an einem Arbeitsgang:</p> $LS_i = [KM_{H,BKT} + LKS_i + MK_{var,i}] \times BD_i$ <p>Maschinenstundensatz in Abhängigkeit der Tagesauslastung:</p> $KM_{H,BKT} = \frac{\sum MK_{fix,i}}{365} \times \frac{1}{AG_{BKT}}$ <p>Auslastungsgrad an einem Tag:</p> $AG_{BKT} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^{24} \sum_{z=1}^3 t_{j,i,z}}{24}$	<p>i Index für Betriebsmittel (Arbeitsgang)</p> <p>z Index für Loszustand</p> <p>j Index für Los</p> <p>BKT Betriebskalendertag</p> <p>LS_i Gesamtkosten für die Bearbeitung des Loses am Arbeitsgang i in Abhängigkeit von der Belegungsdauer BD</p> <p>$KM_{H,BKT}$ Maschinenstundensatz des Betriebsmittels i für den Betriebskalendertag BKT</p> <p>LKS_i Lohnkostensatz an Betriebsmittel i</p> <p>$MK_{var,i}$ Var. Kostensatz an Betriebsmittel i</p> <p>BD_i Belegungsdauer des Loses an Betriebsmittel i</p> <p>$MK_{fix,i}$ Fixkostenelemente des Betriebsmittels i</p>
---	---

Belegungsdauer durch das Los: $BD_i = \sum_{z=1}^3 t_{i,z}$	$AG_{i,BKT}$ Auslastungsgrad der Anlage i am Betriebskalendertag BKT $t_{j,i,z}$ Dauer der Loszustände für Los j an Anlage i, mit z=1 : Rüsten z=2 : Bearbeiten z=3 : Störung z=4 : Prozeßübergang
--	---

Wertentwicklung des Fertigungsauftrags

Die Wertentwicklung eines Loses im Rahmen der Bearbeitung setzt sich aus den Komponenten Materialkosten, monetäre Leistungszufuhr durch die Bearbeitungsgänge sowie Kapitalbindungskosten für das Los zusammen.

Aufgrund der hohen zeitlichen Detaillierung wird es als hinreichend angesehen, wenn der losbezogene Wertverlauf auf die An- und Abmeldepunkte an den Betriebsmitteln reduziert und eine Linearisierung vorgenommen wird.

Als Stützpunkte für die Wertberechnung werden die zeitlichen An- und Abmeldepunkte an den Betriebsmitteln herangezogen. Die an der Anlage erbrachte Leistung für den Arbeitsgang entsteht kontinuierlich über die Dauer der Maschinenbelegung durch das Los. Die Belegungsdauer ergibt sich aus der zeitlichen Differenz der An- und Abmeldung und entspricht der Summe der Loszustände im Zeitbereich der Betriebsmittelbelegung.

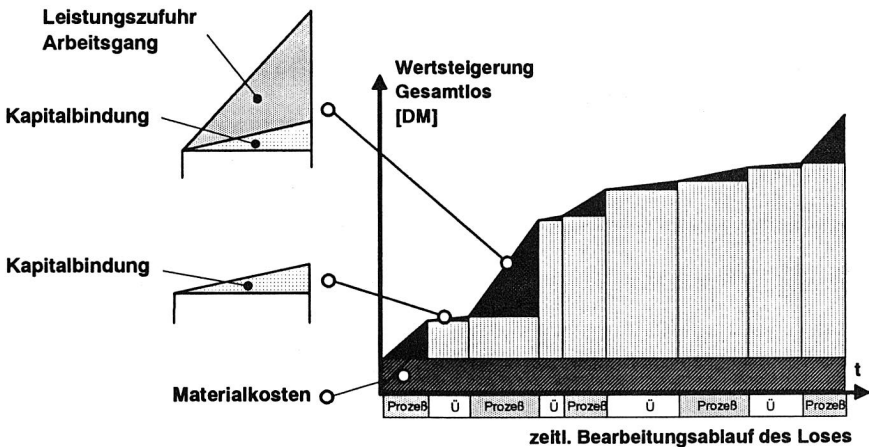


Bild 6.6: Wertsteigerung eines Loses im Verlauf der Bearbeitung

Der Berechnung der Kapitalbindungskosten liegt der Loswert zum An- bzw. Abmeldezeitpunkt zugrunde. Während der Maschinenbelegungsdauer und während des Prozeßübergangs sind sie damit zeitproportional zu ermitteln. Die nachstehenden Algorithmen ermitteln den Wertverlauf für ein Los aus dem Datenbestand des Informationsmodells.

Wertsteigerungsverlauf des Loses in Abhängigkeit vom Bearbeitungsstand:	i z	Index für Betriebsmittel (Arbeitsgang) Index für Loszustand
$WERT_{i,z} = MAT + \sum_{i=1}^i [LS_i + KBK_{i,z}]$	WERT _i	Wertsteigerungsverlauf des Loses
Kapitalbindungskosten in Abhängigkeit vom Bearbeitungsstand:	LS _i	Gesamtkosten für die Bearbeitung des Loses am Arbeitsgang i in Abhängigkeit von der Belegungsdauer
$KBK_{i,z} = \left[MAT + \sum_{i=1}^i \left[t_{i,z} \times LS_{i-1} + LS_i \times \sum_{i=1}^3 \frac{t_{i,z}}{2} \right] \right] \times \frac{ZF}{25T\text{Tage}}$	MAT	Materialwert des Loses
	ZF	Zinsfaktor
	t _{i,z}	Dauer der Loszustände für Los an Anlage i, mit
		z=1 : Rüsten z=2 : Bearbeiten z=3 : Störung z=4 : Prozeßübergang

Stückwert des Fertigungsauftrags im Bearbeitungsablauf

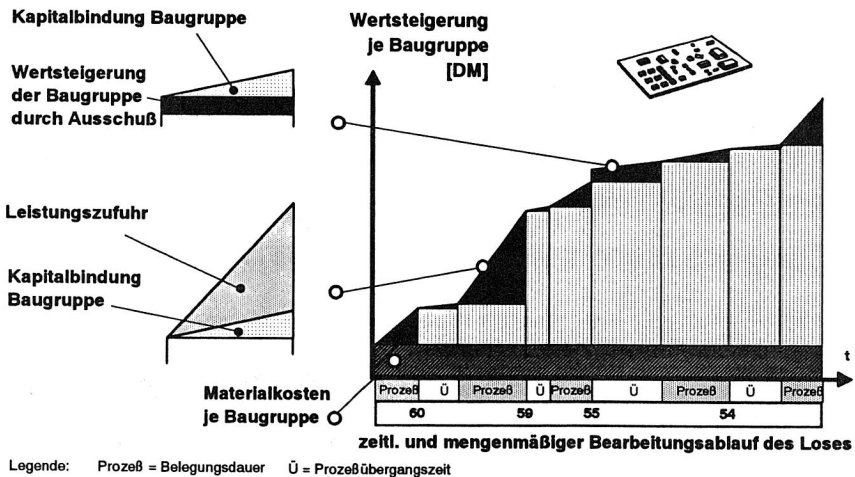


Bild 6.7: Stückbezogener Wertsteigerungsverlauf eines Loses

Die Vergleichbarkeit der Wertsteigerung verschiedener Lose erfordert den Bezug zur einzelnen Baugruppe. Durch Ausschluß an den Arbeitsgängen verringert sich die Losgröße. Im Wert des Loses tritt bei der Entstehung von Fehlmengen keine Veränderung ein. Da das Restlos nun aber eine geringere Baugruppenanzahl enthält, führt der gleichbleibende Loswert zu einer Wertsteigerung der einzelnen Baugruppe im Restlos.

Die stückbezogene Wertsteigerung wird aus dem Gesamtwert des Loses durch Berücksichtigung der dem Bearbeitungsstand des Loses entsprechenden Stückzahl entwickelt und ist aus dem Informationsmodell wie folgt bestimmbar.

<p>Stückbezogene Wertentwicklung:</p> $\text{STCK_WERT}_i = \frac{\text{WERT}_i}{\text{Stck}_i}$	<p>i Index für Betriebsmittel (Arbeitsgang)</p> <p>STCK_WERT_i Wertentwicklung für eine Baugruppe des Loses</p> <p>WERT_i Wertentwicklung des Loses</p> <p>STCK_i Entwicklung der Losgröße in Abhängigkeit von der Arbeitsgangfolge i</p>
---	---

6.3 Zielgerichtete Datenverdichtung und statistische Auswertungen über Segmente des Produktspektrums und der Fertigung

Nachdem die losbezogenen Bearbeitungsabläufe unverdichtet in zeitlicher, mengenmäßiger und kostenorientierter Hinsicht aus dem Datenbestand des Informationsmodells wiederhergestellt wurden, sind Auswertungen auf das Analyseziel hin auszurichten. Die hinsichtlich des Werteverbrauchs quantifizierten, losbezogenen Bearbeitungsabläufe geben aufgrund des hohen Detaillierungsgrads und der unterschiedlich aufeinanderfolgenden Losattribute einen sehr guten Überblick über den tatsächlichen Arbeitsablauf der einzelnen Fertigungsaufträge und sind damit prädestiniert für Ursachen-Wirkungs-Analysen. Der Bezug ist jedoch auf jeweils ein einzelnes Los beschränkt. Sie eignen sich daher nur sehr bedingt zur örtlichen und produktbezogenen Eingrenzung von systematischen Schwachstellen einer bestimmten Thematik in der Gesamtfertigung. Erforderlich ist hierfür eine zielgerichtete und wahrfreie Datenverdichtung entsprechend den jeweiligen Interpretationsabsichten.

Im Gegensatz zur detaillierten Wiedergabe des Bearbeitungsablaufs der ersten Auswertedimension werden hier selektive Leistungswerte der Lose ermittelt und über einem Bearbeitungsabschnitt dargestellt. Diese Losattribute können aus einzelnen, im Informationsmodell enthaltenen Leistungswerten zusammengesetzt sein. Dies hat den Vorteil, daß wesentliche Informationen eines thematischen Zusammenhangs aus der großen, heterogenen Datenmenge des detaillierten Bearbeitungsablaufs selektiert, zusammengefaßt, übersichtlich dargestellt und statistisch ausgewertet werden können.

6.3.1 Auswertesystematik des Datenbestands im Informationsmodell

Entsprechend der Analysesystematik ist eine thematische, örtliche und produktbezogene Schwerpunktsetzung erforderlich. Diese Eingrenzung zur zielgerichteten Auswertung und Verdichtung der Daten im Informationsmodell erfolgt in drei Schritten:

1. Auswahl eines Losattributs beliebiger Verdichtungsstufe (thematische Schwerpunktsetzung)
2. Wahl der Bearbeitungsgänge (örtliche Eingrenzung)
3. Selektion verschiedener Lose (produktseitige Eingrenzung)

Basis einer Auswertung ist die Auswahl eines Losattributs gemäß der thematischen Schwerpunktsetzung für die Analyse. Ein ausgewähltes Losattribut kann durch die Zusammenfassung von Einzelattributen aus dem Informationsmodell unterschiedliche Verdichtungsgrade besitzen. Während beispielsweise das Losattribut "Rüstdauer" unverdichtet aus dem Informationsmodell übernommen wird, stellt das Losattribut "Belegungsdauer" eine Kombination aus den Loszuständen "Rüsten, Bearbeiten und Störung" dar. Analoge Zusammenhänge bestehen für Untersuchungen hinsichtlich Losgrößen oder Kosten.

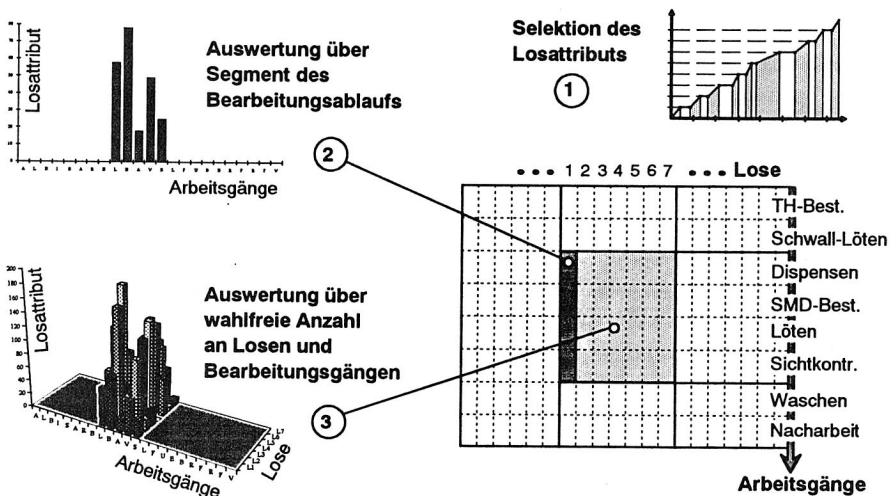


Bild 6.8: Ausprägungsverteilung der Werte eines Losattributs über der Auswerteebene

Die Angabe einer Sequenz von Arbeitsgängen definiert den zu analysierenden Bearbeitungs- und Fertigungsabschnitt. Damit wird die örtliche Schwerpunktsetzung einer Analyse bestimmt. Mit diesen Vorgaben wird die Entwicklung dieses Losattributs im Verlauf der Bearbeitung im angegebenen Abschnitt ermittelt. Das Ergebnis ist eine eindimensionale Auswerteebene für ein Los.

Eine dritte Stufe zieht andere Lose für den gewählten Betriebsmittelabschnitt und für das selektierte Losattribut in die Betrachtung mit ein. Die Auswahl der Lose repräsentiert dabei die produktseitige Schwerpunktsetzung einer Analyse. Damit ergibt sich als allgemeiner Fall eine zweidimensionale Auswerteebene mit einer Ausprägungsverteilung des betrachteten Attributs. Diese Ausprägungsverteilung ist Gegenstand statistischer Auswerteverfahren.

Die folgenden Algorithmen zeigen den Zusammenhang für den Aufbau einer zweidimensionalen Ausprägungsverteilung am Beispiel des Losattributs "Belegungsdauer".

Belegungsdauer:	i	Index für Betriebsmittel (Arbeitsgang)																																				
	j	Index für Los																																				
	z	Index für Loszustand																																				
$BD_{i,j} = \sum_{z=1}^3 t_{i,j,z}$	$BD_{i,j}$	Belegungsdauer des Loses j am Bearbeitungsgang i																																				
Ausprägungsverteilung über Auswerteebene:	$t_{i,j,z}$	Dauer des Loszustands z eines Loses j am Bearbeitungs-gang i mit z=1 : Rüsten z=2 : Bearbeiten z=3 : Störung																																				
<table border="1"><tr><td>$BD_{1,1}$</td><td>$BD_{1,2}$</td><td>.</td><td>.</td><td>.</td><td>$BD_{1,n}$</td></tr><tr><td>$BD_{2,1}$</td><td>$BD_{2,2}$</td><td></td><td></td><td></td><td>$BD_{2,n}$</td></tr><tr><td>.</td><td></td><td>.</td><td></td><td></td><td>.</td></tr><tr><td>.</td><td></td><td></td><td>.</td><td></td><td>.</td></tr><tr><td>.</td><td></td><td></td><td></td><td>.</td><td>.</td></tr><tr><td>$BD_{m,1}$</td><td>.</td><td>.</td><td>.</td><td>.</td><td>$BD_{m,n}$</td></tr></table>	$BD_{1,1}$	$BD_{1,2}$.	.	.	$BD_{1,n}$	$BD_{2,1}$	$BD_{2,2}$				$BD_{2,n}$	$BD_{m,1}$	$BD_{m,n}$	m	Variable für Anzahl ausgewählter Arbeitsgänge
$BD_{1,1}$	$BD_{1,2}$.	.	.	$BD_{1,n}$																																	
$BD_{2,1}$	$BD_{2,2}$				$BD_{2,n}$																																	
.		.			.																																	
.			.		.																																	
.				.	.																																	
$BD_{m,1}$	$BD_{m,n}$																																	
	n	Variable für Anzahl ausgewählter Lose																																				

Das Losattribut bestimmt bei der Untersuchung die thematische Richtung und korrespondiert daher mit der thematischen Schwerpunktsetzung. Im folgenden ist deshalb die Bildung und die Verdichtungsstufen der Losattribute untersucht.

6.3.2 Bildung und Auswahl der Losattribute

Das Losattribut ist ein Leistungswert, der für ein Los an einem Bearbeitungs-gang erreicht wurde. Dieser Leistungswert kann dabei zeitlicher, mengenmäßiger oder monetärer Art sein und verschiedene, auf den Arbeitsgang bezogene Verdichtungsstufen einnehmen. Dieser losbezogene Wert wird für eine Anzahl von Bearbeitungs-gängen zur Interpretation oder Weiterverarbeitung ermittelt.

Für die Auswertung können Losattribute zusammengefaßt werden und damit eine Vorverdichtung, entsprechend der thematischen Zielsetzung, erwirken. Losattribute mit höchstmöglicher Informationsauflösung sind die im Informationsmodell enthaltenen, losbezogenen Werte. Sie betreffen die einzelnen Ereignisse, die Loszustände sowie die Losgröße und sind die Basis für die Berechnung der Losattribute höherer Verdichtung.

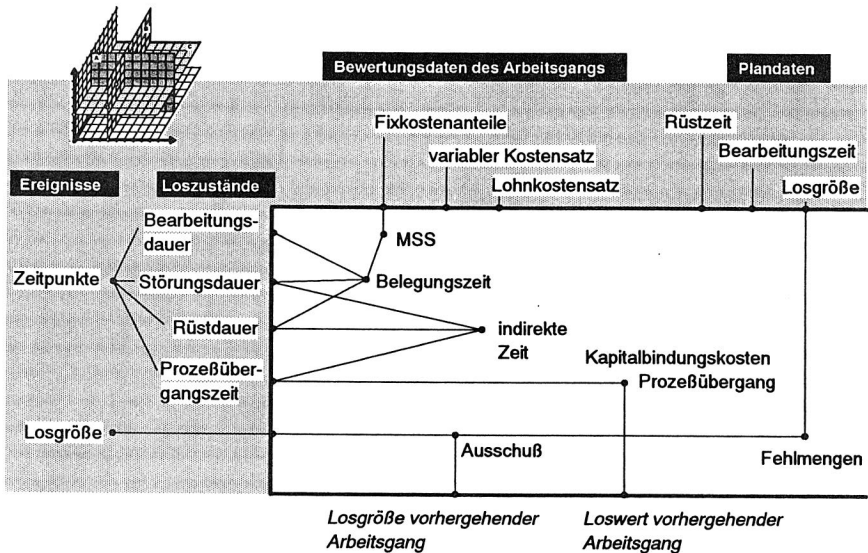


Bild 6.9: Beispielhafte Verknüpfung von arbeitsgangbezogenen Losattributen

Die mathematische Kombination läßt sich wie folgt differenzieren:

- Verknüpfung von Losattributen identischer Bemessungseinheit an einem Arbeitsgang

In der Regel wird das Losattribut additiv aus Leistungswerten gebildet. Ein Beispiel hierfür ist die Belegungszeit, die sich aus den Zeiten der Loszustände "Rüsten, Bearbeiten und Störung" ergibt.

- Bildung von Losattributen unter Einbezug von Bewertungsdaten

Zur Berechnung der losbezogenen Kosten durch den Arbeitsgang ist die Belegungszeit und die Kostensätze einzubeziehen. Exemplarisch können die losbezogenen Lohnkosten eines Bearbeitungsgangs genannt werden.

- Verknüpfung von Losattributen unterschiedlicher Bearbeitungsgänge

Das Losattribut "Ausschuß" an einem Arbeitsgang ist ein Beispiel für die Verknüpfung der losbezogenen Leistungswerte aus aufeinanderfolgenden

Bearbeitungsschritten. Der arbeitsgangbezogene Ausschuß ist definiert als die Differenz der Losattribute "Losgröße" am betrachteten und am vorhergehenden Arbeitsgang.

Die Ermittlung von losbezogenen Kapitalbindungskosten, beispielsweise für den Loszustand "Prozeßübergang", setzt die Kenntnis des Loswertes voraus. Dieser ergibt sich aus dem gesamten Fertigungsablauf bis zum betrachteten Bearbeitungsschritt. (vgl. Abb. 6.9)

Für das Losattribut "indirekte Zeiten" wird im folgenden beispielhaft die Vorgehensweise demonstriert:

In Anlehnung an Kap. 4 deklarieren sich die direkten und indirekten Zeitanteile im Bearbeitungsablauf des Fertigungsauftrags aus der Art des Loszustands und der Klassifikation des bearbeitenden Betriebsmittels. Prozeßübergänge, Rüsten und Störungen sind generell indirekter Art. Das Zeitelement "Bearbeiten" unterliegt einer wechselnden Einteilung. Direkte Bearbeitungsgänge wie Bestücken oder Löten sind essentiell und weisen bei der reinen Bearbeitung relativ geringe Verbesserungspotentiale auf. Dementsprechend wird die Bearbeitungszeit als direkt betrachtet. Indirekte Betriebsmittel, wie Sichtkontrollen oder Reparaturplätze sind für den Aufbau des Produkts nicht unabdingbar und werden aufgrund von Unzulänglichkeiten anderer Prozesse benötigt. Ihr Zeitanteil "Bearbeiten" ist deshalb prinzipiell vermeidbar und als indirekt eingeordnet.

Damit ergibt sich das Losattribut "indirekte Zeitanteile" in Abhängigkeit von Loszustand und Bearbeitungsgang.

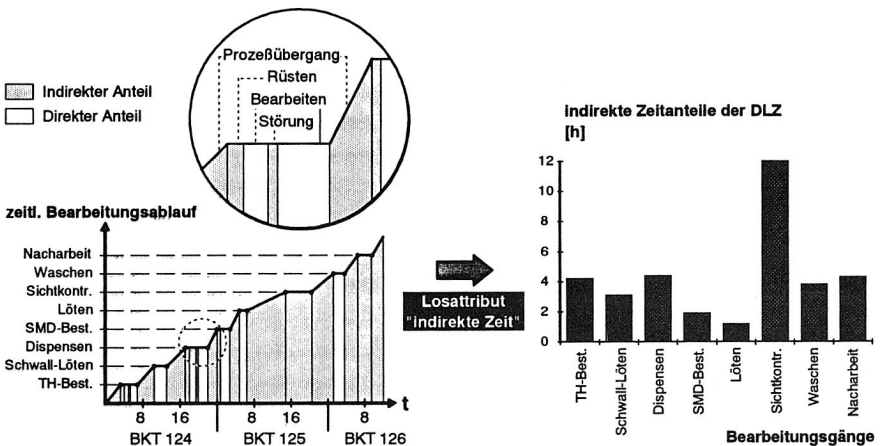


Bild 6.10: Beispielhafte Auswertung des Losattributs "indirekte Zeit"

6.3.3 Zielgerichtete Definition der Auswerteebene

Durch die geeignete Selektion der Auswerteebene, respektive der Lose und Arbeitsgänge wird die Interpretationsfähigkeit der Auswertung erheblich beeinflusst. So können, beispielsweise durch die Auswahl mehrerer Fertigungsaufträge eines Produkts, die Reproduzierbarkeit von Losattributen gezielt für einen Baugruppentyp überprüft und systematische Abweichungen oder gehäuft auftretende, hohe Ausprägungen erkannt werden. Durch die Anwahl von Losen einer anderen Produktzugehörigkeit ist eine Relativierung dieser Untersuchung durchführbar.

Die maximale Auswerteebene wird begrenzt durch die Anzahl der Betriebsmittel in der Fertigung sowie der im Betrachtungszeitraum bearbeiteten Menge an Fertigungsaufträgen. Während die Menge der Betriebsmittel in größeren Zeiträumen konstant bleibt, ist die Losanzahl für die Auswerteebene direkt von dem zu betrachtenden Zeitraum abhängig.

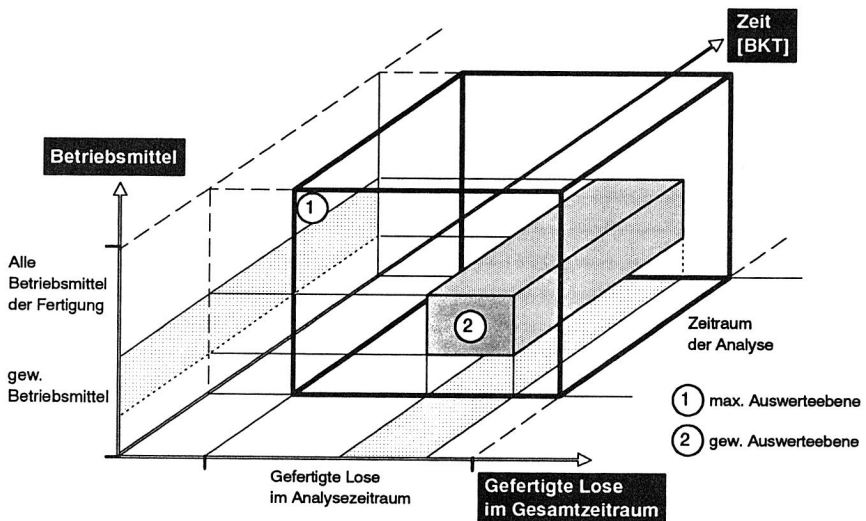


Bild 6.11: Einschränkung der maximalen, durch Vorgabe des Analysezeitraums gegebenen Auswerteebene

Entsprechend der Zielsetzung der jeweiligen Untersuchung wird ein Ausschnitt der maximalen Auswerteebene durch Auswahl von Losen und Betriebsmitteln definiert. Dabei kann in zweifacher Hinsicht vorgefahren werden:

- Definition zu untersuchender Lose als erstes Auswahlkriterium
Werden zuerst Lose definiert, so stehen zur betriebsmittelseitigen Einschränkung

kung der Auswerteebene nur diejenigen Anlagen zur Verfügung, die im betrachteten Zeitraum an der Bearbeitung der ausgewählten Lose beteiligt waren.

- **Definition zu untersuchender Betriebsmittel als erstes Auswahlkriterium**
Wird die Auswerteebene zuerst durch die Auswahl der Betriebsmittel spezifiziert, so können nur Lose selektiert werden, die im Analysezeitraum von diesen Anlagen bearbeitet wurden.

Damit ist die Auswerteebene durch die Parameter "Analysezeitraum, Lose und Betriebsmittel" bestimmt. Wird die Anzahl der betrachteten Arbeitsgänge bzw. der Lose auf 1 begrenzt, so ergeben sich Sonderfälle mit besonderen Aussagemöglichkeiten. Sie sind nachfolgend anhand von Beispielen erläutert.

Zielgerichtete Datenverdichtung zu den Arbeitsgängen eines Fertigungsauftrags

Die Auswerteebene ist in diesem Fall eindimensional, umfaßt ein singuläres Los und eine Sequenz von Bearbeitungsgängen. Die folgende Abbildung zeigt einige Beispiele für verschieden verdichtete Losattribute über eine Sequenz von Bearbeitungs-gängen. Diese Untersuchung hat arbeitsgangvergleichenden Charakter.

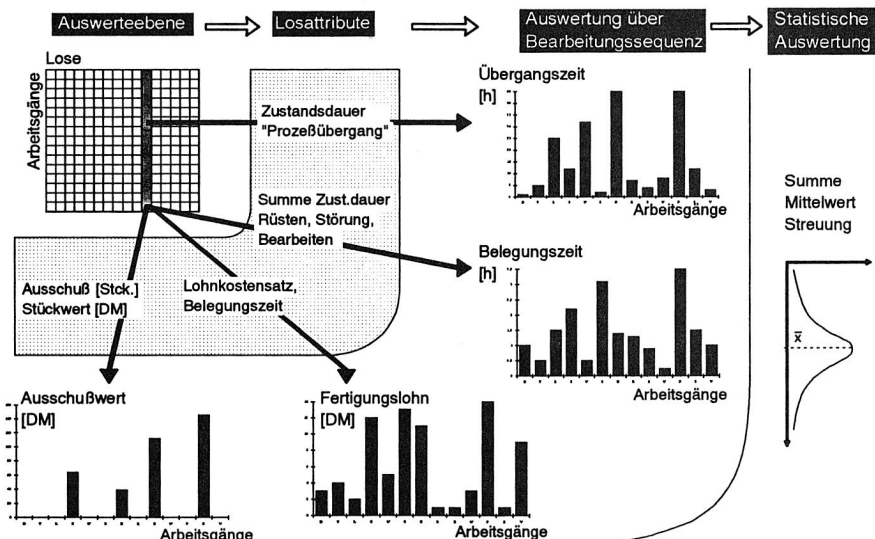


Bild 6.12: Beispielhafte Untersuchung eines Loses

Wie in diesem Beispiel gezeigt, können beliebige Verdichtungsstufen erreicht werden. Der Informationsgewinn schließt dabei die heute erhältlichen Daten bei der

Wahl entsprechender Datenkompression mit ein. Beispiel ist die aus dem PPS-System erhältliche Losdurchlaufzeit für einen Fertigungsabschnitt.

Analyse der Lose eines Arbeitsgangs

Diese Ebene entspricht ebenfalls einem eindimensionalen Auswertefall. Für einen Arbeitsgang (Betriebsmittel) werden die Leistungsattribute einer wahlfreien Losmenge untersucht.

Dieser Untersuchungsebene kommt eine besondere Bedeutung zu, da sie die Ergebnisse der heutigen, betriebsmittelbezogenen Maschinendatenerfassung liefern kann und damit die Verbindung zur konventionellen, sektoralen Vorgehensweise repräsentiert. Aufgrund des Bezuges zu den Losen sind aber zusätzliche Informationen für erweiterte Interpretationen zu erhalten.

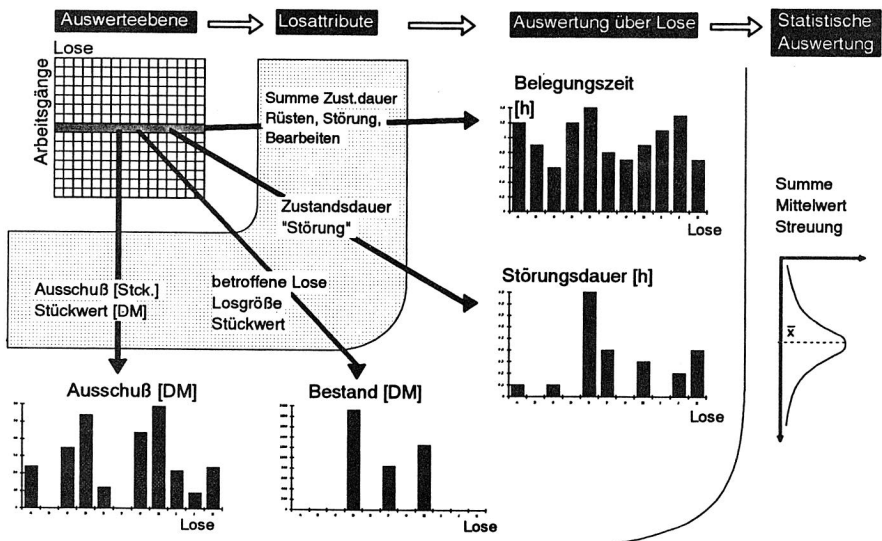


Bild 6.13: Beispielhafte Analyse der Lose eines Arbeitsgangs

Die Abbildung 6.13 zeigt einige Beispiele für losbezogene Auswertungen an einem Arbeitsgang. Die Untersuchungen haben dabei losvergleichenden Charakter. Besonders deutlich wird dies bei der Betrachtung der Ausschusssituation an einem Bearbeitungsschritt. Werden Fertigungsaufträge gleicher Produktzugehörigkeit zusammengefaßt ergibt sich eine Beurteilungsmöglichkeit für die produktabhängige Prozeßsicherheit des Arbeitsgangs. In Analogie hierzu können die Störungshäufigkeiten während der Bearbeitung betrachtet werden.

Die Summe der Belegungsdauer über die einzelnen Lose ergibt die Auslastung des Betriebsmittels innerhalb der betrachteten Zeitperiode. Die Bestandsermittlung gilt für einen gewählten Zeitpunkt und erfasst die Lose, die zu diesem Termin im Wirkungsbereich des Betriebsmittels erfasst wurden. Bestandswerte ergeben sich aus den Losgrößen oder den, dem jeweiligen Bearbeitungsstand der Lose entsprechenden Stückwerten.

6.3.4 Statistische Auswertungen

Mit der Wahl der Arbeitsgänge und der Lose wird eine zweidimensionale Untersuchungsebene aufgespannt. Die Integration des Losattributs führt zu einer Ausprägungsverteilung über diese Ebene. Dieser Werteraum ist nun durch geeignete Auswerteverfahren in analyszielgerichtete, komprimierte Informationsinhalte umzusetzen. Ziel dieser Informationsverdichtung ist die komprimierte Wiedergabe der Ausprägungsverteilung des gewählten Losattributs über dem Werteraum.

Gemäß der geometrischen Dimensionen der Auswerteebene kann die Datenkompression in dreifacher Hinsicht erfolgen:

1. Arbeitsgangvergleichende Auswertung
2. Losvergleichende Auswertung
3. Gesamtansatz

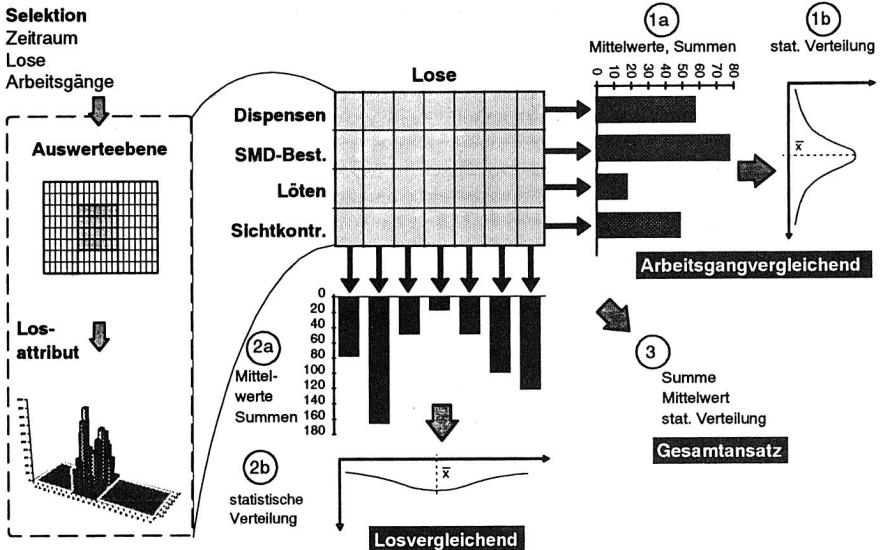


Bild 6.14: Wege der statistischen Datenverdichtung über den Werteraum der Auswerteebene

Zum Einsatz kommen Durchschnittswerte, Summen und statistische Verteilungen. Die statistische Verteilung in Form der Standardabweichung bietet zusätzliche Aussagen bezüglich der Streuung bzw. der Gleichförmigkeit gemessener, auftragsbezogener Werte.

Arbeitsgangorientiert (1)

Im ersten Schritt wird eine Mittelwert- oder Summenbildung über die Losattribute der verschiedenen Fertigungsaufträge jedes einzelnen Arbeitsganges durchgeführt. Dann erfolgt eine statistische Auswertung über die Durchschnittswerte. Die Auswertung ergibt:

- Durchschnittlicher bzw. summierter Attributwert der Lose für einen Arbeitsgang
- Streuung der durchschnittlichen, bzw. aufsummierten Attributwerte über mehrere Arbeitsgänge

Losorientiert (2)

Hier wird die statistische Auswertung über die Durchschnittswerte der Losattribute an verschiedenen Arbeitsgängen für jedes einzelne Los durchgeführt. Die Auswertung ergibt:

- Durchschnittlicher bzw. summierter Attributwert eines Loses über mehrere Arbeitsgänge
- Streuung der Durchschnittswerte, bzw. Summen über mehrere Lose

Gesamtansatz (3)

Auswertungsmöglichkeiten bestehen hier in der Bildung des Mittelwerts oder der statistischen Verteilung aller Ausprägungen des Losattributs im Untersuchungsraum. Die Auswertung ergibt:

- Durchschnittlicher, bzw. summierter Attributwert über mehrere Lose und Arbeitsgänge
- Streuung der Attributwerte über mehrere Lose und Arbeitsgänge

Die unterscheidbaren Verdichtungswege haben wesentlichen Einfluß auf die Interpretationsfähigkeit der erzeugten Analyseergebnisse. Die Aussagefähigkeit der verschiedenen Vorgehensweisen ist im folgenden an Beispielen für die Losattribute "Prozeßübergangszeit", "Ausschuß" und "Belegungszeit" dargelegt.

	Prozeßübergangszeit	Ausschuß	Belegungszeit
Arbeitsgang-orientiert	Maß für homogenen Auftragsfluß und Bestand	Maß für die Prozeßsicherheit der Arbeitsgänge	Maß für Homogenität der Kapazitätsbelastung
Losorientiert	Maß für Planbarkeit der Übergangszeiten im betrachteten Abschnitt	Maß für die losabhängige Prozeßsicherheit im betrachteten Abschnitt	Maß für Kapazitätsbedarf der Lose im betrachteten Abschnitt
Gesamt-ansatz	Homogenität des Betriebsmittelbereichs für die betrachteten Lose	Gesamtausschuß, Homogenität der Prozeßsicherheit	Maß für Kapazitätsbelastung im Betriebsmittelausschnitt

Mit diesen Ausführungen wurde gezeigt, daß die Forderungen nach einer Ergänzung der Informationsverfügbarkeit und nach einer Integration der Analysedaten in den Bearbeitungszusammenhang mit dem Informationssystem erfüllt werden. Bemerkenswert ist, daß durch die dargelegte Zusammenführung und Auswertung der, in der heutigen Fertigung bereits vielfältig vorhandenen, Daten die fehlende Informationsverfügbarkeit beseitigt und eine erhebliche Aussagekraft hinsichtlich einer Problemlokalisierung und Ursachenanalyse gewonnen wird.

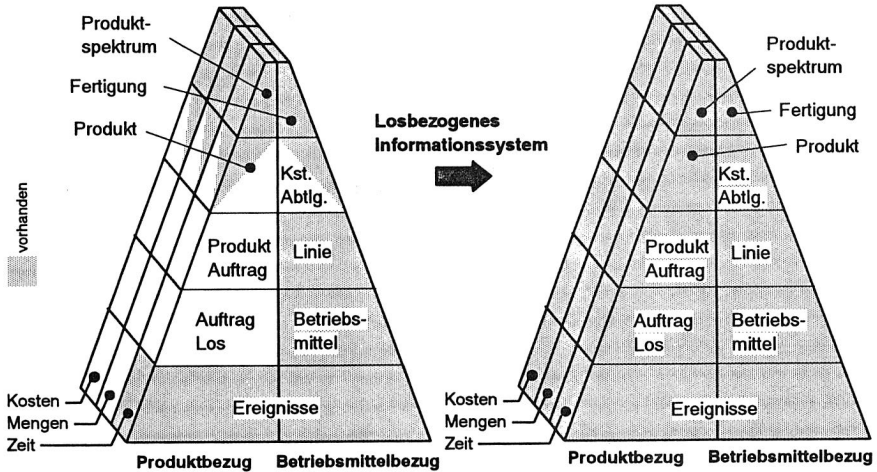


Bild 6.15: Ergänzung der Informationsverfügbarkeit durch das losbezogene Informationssystem

Durch die Datenorientierung an den Fertigungslosen wird die Datenergänzung im produktseitigen Bereich mit wahlfreien Analyserichtungen ermöglicht. Im betriebsmittelbezogenen Sektor erhöht sich durch die Losorientierung die Varianz selektiver Auswertungen mit Produktbezug erheblich.

Die Ausschöpfung dieser Möglichkeiten ist in hohem Maß vom Anwender dieser Systematik abhängig. Im folgenden ist daher die Schnittstelle zum Benutzer dargestellt.

6.4 Anwenderschnittstelle

Die Nutzung dieses Informationssystems basiert auf einer interaktiven Arbeitsweise, wobei der Anwender eine gewünschte Analyse spezifiziert. Das System ermittelt die Informationen und stellt sie dem Nutzer in geeigneter Weise zur Verfügung.

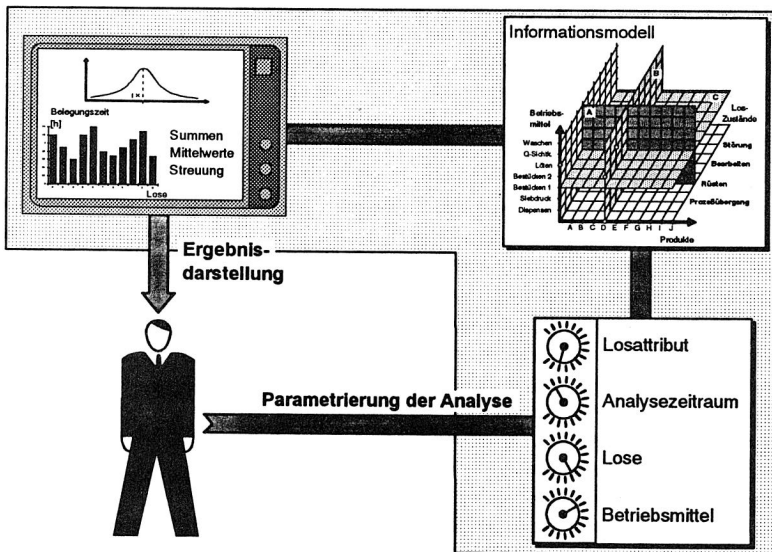


Bild 6.16: Anwenderschnittstelle des losbezogenen Informationssystems

6.4.1 Definition der Analyse durch den Anwender

Jede einzelne Untersuchung wird durch die Parameter "Losattribut, Analysezeitraum, Lose und Arbeitsgänge" spezifiziert. Diese Parametrierung ist vom Nutzer entsprechend seiner Interpretationsabsichten und -vermutungen hinsichtlich der Auswerteergebnisse vorzunehmen.

Die Parameter "Analysezeitraum, Lose und Betriebsmittel" sind voneinander abhängig. Hier gilt es dem Anwender verbleibende Auswahlmöglichkeiten aufzuzeigen.

Für die Einschränkung der, für einen gewählten Untersuchungszeitraum möglichen, maximalen Auswerteebene ist die Unterstützung durch komfortable Auswahlmechanismen wünschenswert. Dies kann durch Suchalgorithmen, die nach starker Ausprägung des Losattributs ermitteln, erfolgen. Geeignet sind beispielsweise:

- ABC-Analysen für die Produkte und Betriebsmittel nach einzelnen Kriterien oder Losattributen
- Scoring-Modelle nach der Art einer Nutzwertanalyse
- Fuzzy Logic zur Elementauswahl nach schwer beurteilbaren Kombinationen aus mehreren Attributen
- Künstliche Neuronale Netze in Form von selbstlernenden Kohonen-Netzen zur Klassifikation von Losen nach der Ausprägung von arbeitsgangbezogenen Losattributen

6.4.2 Methoden der Ergebnisdarstellung

Die Darstellung der Ergebnisse trägt in hohem Maß zur Interpretationsfähigkeit bei. Übermittlungsarten an den Anwender lassen sich unterscheiden in:

- alphanumerische Ausgaben und
- grafische Darstellungen.

Die alphanumerische Werteausgabe resultiert aus dem Hintergrund einer exakten Wiedergabe der Werte und dient im wesentlichen der Dokumentation. Umfangreiche Zahlenreihen sind für den Menschen nur schwer auswertbar. Grafische Darstellungen ergeben einen schnellen Überblick über die Entwicklung der Werte und sind daher zur Interpretation besser geeignet. Trendhafte Entwicklungen sind erkennbar und durch statistische Auswertungen zu bestätigen. Je nach Zielsetzung und Auswertebereich ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Darstellungsmöglichkeiten. Im folgenden sind einige Beispiele genannt.

Alphanumerische Ausgabe:

- einfache oder sortierte Tabellen mit Klasseneinteilungen oder periodisch verdichteten Kennwerten
- Statistiken mit Mittelwertbildung, Standardabweichung, Maximal- und Minimalwerten, etc.

Grafische Ausgabe:

- Zeitbezogene Diagramme für die Darstellung des losbezogenen Werteverbrauchs im zeitlichen Bearbeitungsablauf
- Balkendiagramme zur arbeitsgangbezogenen Darstellung der Losattribute

6.5 Diskussion des auftragsbezogenen Informationssystems

Das in dieser Arbeit konzipierte Informationssystem entspricht, hinsichtlich des Informationsgehalts, einem Maximalkonzept. Die vorliegende Struktur gibt die Möglichkeit eines sukzessiven Aufbaus, entsprechend den Voraussetzungen und Zielstellungen der jeweiligen Fertigung. So sind beispielsweise drei Ausbauschritte vorstellbar:

- Quantifizierung der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe hinsichtlich Zeit und Losgröße
Dies ermöglicht Auswertungen im Bereich des detaillierten Zeitverbrauchs und der Fertigungsqualität. Im wesentlichen genügen dieser Funktionalität die rückgemeldeten Ereignisdaten.
- Quantifizierung der Wertsteigerung in den auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufen
Die Integration der Bewertungsdaten ermöglicht Auswertungen in monetärer Hinsicht und damit auf abstrakter Ebene eine ganzheitliche Bilanzierung.
- Quantifizierung des geplanten Werteverbrauchs der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe
Der Einbezug von Plandaten befähigt das Informationssystem zu SOLL-IST Vergleichen hinsichtlich Zeitverbrauch, Fehlmengen und Kosten.

Zusätzliche Anpassungsmöglichkeiten bestehen bezüglich der Rückmeldesystematik. Die Dichte der Rückmeldungen im Bearbeitungsablauf der Aufträge ist variationsfähig von einzelnen Arbeitsgängen bis hin zu Arbeitsabschnitten. Jedoch wird bei der Zusammenfassung von Bearbeitungsschritten tendenziell eine Annäherung an die konventionelle, bereichsbezogene Leistungsmessung erwirkt, womit eine Reduktion der Aussagegenauigkeit durch Informationsverdichtung verbunden ist. Im Interesse interpretationsfähiger Auswertungen sind hier Grenzen gesetzt.

Das vorliegende Informationssystem basiert auf Daten der auftragsbezogenen Ereignisse im Bearbeitungsablauf, der Anlagenbuchhaltung sowie der Planungs- und Steuerungskomponenten. In gut organisierten Fertigungen können die benötigten Informationen als weitgehend verfügbar angesehen werden. Die detaillierte Untersuchung des Werteverbrauchs der Fertigungsaufträge kann damit als praxisnah und als, mit mäßigem Vorbereitungsaufwand für die Umsetzung, behaftet angesehen werden.

7. Exemplarische Realisierung und realer Anwendungsfall

Das Informationssystem wurde beispielhaft für die Anwendung in einer größeren Baugruppenfertigung realisiert. Im folgenden wird das implementierte, losbezogene Informations- und Analysesystem "FAZIT" dargestellt.

7.1 Das auftragsbezogene Informations- und Analysesystem "FAZIT"

Das Informationssystem "FAZIT" unterstützt das Operative Fertigungscontrolling, gemäß der entwickelten produktbezogenen Strategie und Methodik, bei der Lokalisierung von Schwachstellen, bei der Ermittlung von Ursache-Wirkungs-Netzen und bei der Durchführung von Zielerreichungskontrollen. Der Anwender spezifiziert dazu interaktiv einzelne Analysen, zieht - als Synonym des Systemnamens "FAZIT" - Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen und leitet damit neue Untersuchungsspezifikationen zur Konkretisierung seiner Überlegungen ab.

Entsprechend der Aufgaben wurde die Funktionalität des Informationssystems hierfür in mehrere Segmente zergliedert. Die wesentlichen Komponenten sind:

- das Informationsmodell,
- die Berechnungsebene und
- die Anwenderschnittstelle.

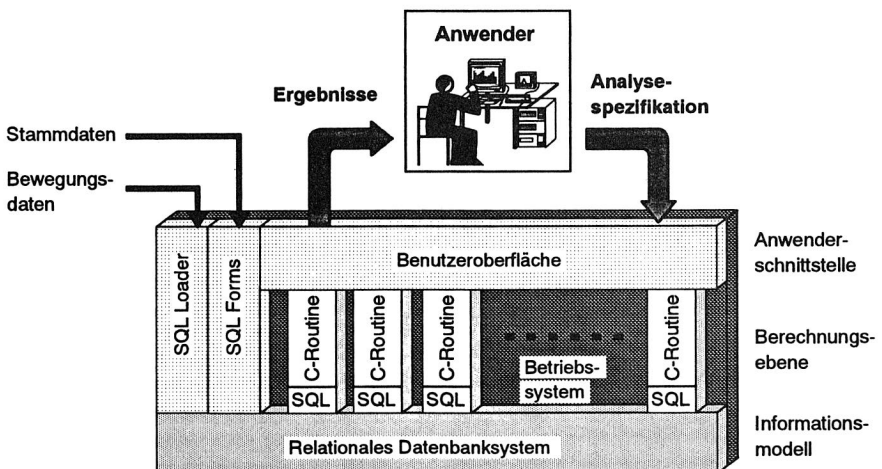


Bild 7.1: Aufbau und Komponenten des losbezogenen Informationssystems FAZIT

Aufgrund der Vielfalt zu integrierenden Aufgaben und der Komplexität der Auswertungssystematik wurde bei der Konzeption hoher Wert auf die Modularität der Komponenten gelegt. Die Applikation stützt sich auf das Betriebssystem "MS-DOS" und das Anwendungsprogramm "MS-Windows".

Informationsmodell:

Das Modell hat im Einsatz eine hohe Datenmenge¹ zu verwalten, für die ein wahlfreier Zugriff ermöglicht werden muß. Zur Pflege der Stammdaten und zum automatisierten Einlesen der Bewegungsdaten sind geeignete Datenschnittstellen implementiert. Die Berechnungsebene ist in einer Hochsprache erstellt und wird durch die gewählte, SQL-fähige, relationale Datenbank "ORACLE" unterstützt.

Berechnungsebene:

Die vielfältigen Auswertemöglichkeiten erfordern einen, mit wachsender Einsatz-erfahrung erweiterbaren, modularen Aufbau der Berechnungsebene. Die Module sind daher in der hardwareunabhängigen Hochsprache C programmiert und aufgrund einheitlicher Schnittstellen zur Datenbank und zur Anwenderoberfläche austauschbar.

Anwenderschnittstelle:

Die Benutzeroberfläche soll komfortabel und daher grafisch zu bedienen sein. Mit dem WINDOWS-Anwendungsprogramm "Toolbook" ist eine grafische Oberfläche realisiert, die mit der Berechnungsebene über einheitlichen Datenaustausch in Verbindung steht.

Die Aktualisierung und die Pflege der Stamm- und Bewegungsdaten wird über datenbankeigene Werkzeuge durchgeführt. Die Datenbankschnittstellen wurden dazu über einen SQL-Loader und mit SQL-Forms implementiert und ermöglichen das automatisierte Einlesen von Bewegungsdaten sowie eine maskengeführte Manipulation der Stammdaten.

7.1.1 Informationsmodell mit Datenbanksystem "ORACLE"

In jeder Phase der Fertigung befinden sich die Fertigungsaufträge in einem Zustand, der einem aktuellen Produktionsfortschritt entspricht. Das Ziel der Strukturierungsüberlegungen muß also darin bestehen, den nahtlosen, sequentiellen Bearbeitungsablauf der einzelnen Fertigungsaufträge in den DB-Strukturen losgebunden festzuhalten und die einzelnen Phasen und Zustände zu dokumentieren.

¹ In der exemplarischen Realisierung standen die auftragsbezogenen Ereignisdaten einer Elektronikfertigung zur Verfügung. Der erfaßte Zeitraum erstreckt sich über 4 Monate und umfaßt 1600 Aufträge der Hauptprodukte mit ca. 170.000 Einzelzeiten.

Ausgangspunkt bildet daher das Ziel eines effizienten Datenbankentwurfs, der die Abbildung auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe der realen Fertigung in ein konzeptionelles Datenmodell beabsichtigt. In der Phase der Implementierung wurden diese Ergebnisse in die Objekte des Datenbanksystems "ORACLE Version 6.0" umgesetzt. Es handelt sich dabei um ein dynamisches System, das auf der Basis von Konfigurationsdaten maßgeschneidert generiert wird. Ein SQL-Form wurde hierzu implementiert und ermöglicht ein Selektieren und Generieren des Datenbanksystems. Über Programmtools werden die Bewegungs- und Stammdaten in die geschaffenen Strukturen geladen. Alle weiteren Tätigkeiten werden nach Bereitstellung der Datensätze von dynamisch erzeugten Ladeprogrammen übernommen.

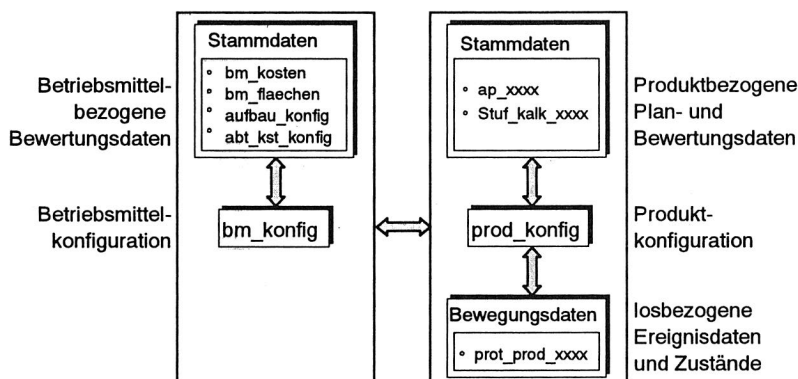


Bild 7.2: Gesamtschema des Datenbanksystems "FAZIT"

Der Entwurf des Strukturgitters der Datenbank bestimmt in entscheidender Weise die Leistungsfähigkeit übergeordneter Berechnungs- und Auswertesysteme. Die den relationalen Datenbanksystemen anhaftenden Performanceprobleme (z. B. Zugriffszeit) sind primär intern bedingt und können nur durch den Einsatz leistungssteigernder, aber auch intransparenter Mechanismen kompensiert werden. Es wurde daher ein Kompromiß erforderlich, der Anforderungen des Anwenders und leistungssteigernde Maßnahmen gleichermaßen berücksichtigt.

Dementsprechend basiert die entwickelte Datenbasis auf folgenden, wesentlichen Schwerpunkten:

- Hohe Performance bezüglich des Datenzugriffs
- Transparente Strukturen aus Sicht der Datenzuordnung
- Variables Strukturgefüge entsprechend des Datenbedarfs

- Geradlinige und nachvollziehbare Zusammenhänge zwischen den Strukturelementen der Datenbank
- Orientierung der Strukturen an konkreten Nebenbedingungen (z. B. Widerspiegelung der losbezogenen Betrachtungsweise)

Das Datenbanksystem muß die Ereignis-, Bewertungs- und Plandaten in Form von Bewegungs- und Stammdaten aufnehmen. Die Dimension des Datenbanksystems ist durch die kontinuierliche Veränderung in der Fertigung hinsichtlich Anlagen und Produktvarianten nicht im Vorfeld festzulegen. Die Dimension der Datenbankstruktur und des benötigten Speicherbedarfs hängen primär von der Anzahl der Konfigurationsdaten und der Menge der kontinuierlich entstehenden Ereignisinformationen ab. Notwendig ist daher eine dynamische Dimensionierung über die Einsatzdauer und entsprechend der Einführung neuer Baugruppenvarianten und Betriebsmittel.

Dieser Zusammenhang wird am Beispiel der variantenbezogenen Daten deutlich (vgl. Abb. 7.3). Die Stammdaten der Varianten liegen in Arbeitsplänen und Stufenkalkulationen vor. Diese Plandaten sind keine starren Größen, sondern unterliegen einer Veränderung durch Einführung neuer Produkte oder Modifikationen der Arbeitsvorgaben. Analog sind die Ereignisdaten zu sehen. Dementsprechend kommt nur ein dynamisches Configurationssystem in Betracht, das die Datenbankstruktur den tatsächlichen Produktgegebenheiten anpaßt.

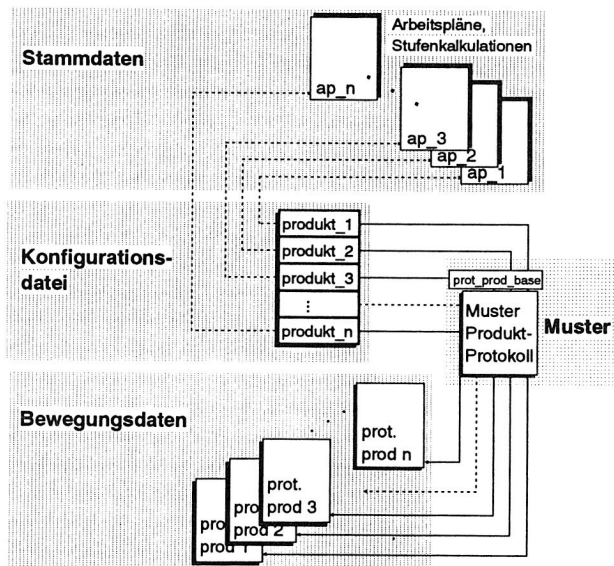


Bild 7.3: Dynamische Datenbankstruktur zur Aufnahme der produktbezogenen Stamm- und Bewegungsdaten

Diese Forderung setzt die Bekanntgabe aller Produkte des Fertigungssystems an das Datenbanksystem voraus. Mit dem Wissen um das exakte Produktspektrum wird für jede Variante nach standardisiertem Vorbild jeweils eigene Tabellen für Arbeitspläne, Stückkalkulationen und Ereignisdaten generiert. Dieser Generierungsablauf berücksichtigt, daß nach Änderungen in der Produktkonfigurationstabelle für neu hinzugekommene Varianten zusätzliche Tabellen für die Informationen bereitgestellt werden.

Die Konfigurationsdatei der Produkte stellt die zentrale Datenbankstruktur der produktbezogenen Stamm- und Bewegungsdaten dar. Sie enthält ausschließlich Daten zur Produktidentifikation und erfüllt die Funktionen:

- Informationsträger zum Produkt und
- Lieferant der Parameter für die dynamische Tabellenerzeugung für Stamm- und Bewegungsdaten.

Die Stammdaten, respektive die Arbeitspläne und die Stufenkalkulationen, werden entsprechend der jeweiligen Informationsgültigkeit fortgeschrieben und gewährleisten damit den zeitlichen Bezug von gültigem Planungsdatum zum Bearbeitungsablauf eines Loses.

Innerhalb eines jeden Produkt-Protokolls werden die Ereignisdaten der dem Produkt zugehörigen Lose kontinuierlich fortgeschrieben. Diese Aufzeichnungsart ergibt sich aus den Gegebenheiten der Datenerfassung im realen Fertigungssystem.

Herauszustellen ist, daß mit dieser Strukturwahl, aufgrund der Gleichartigkeit der Tabellen, die relationalen Verknüpfungsmöglichkeiten des Datenbanksystems "ORACLE 6.0" in Hinsicht auf die Datenauswertung in vollem Umfang unterstützt werden. Durch die enge Verbindung "Stammdaten - Bewegungsdaten", welche durch die Konfigurationsdatei vermittelt wird, sind beliebige Verknüpfungen und Auswertungen möglich.

Realisierung der Schnittstellen zum Datenbanksystem

Das Einlesen und die Pflege der Stamm- und Bewegungsdaten, sowie die Konfiguration des Datenbanksystems erfordern geeignete Schnittstellen außerhalb der Anwendung des Informationssystems. Im Einzelnen sind folgende Eingriffsfunktionen notwendig:

- Konfiguration des Datenbanksystems
- Aktualisierung und Pflege der Stammdaten
- Automatisiertes Einlesen der losbezogenen Bewegungsdaten

Die Konfiguration und die Stammdatenpflege erfolgt über eine maskenorientierte Oberfläche, die einen direkten Zugriff auf die Datenbasis bereitstellt. Das dieser Applikation zugrunde liegende "SQL-Forms" ist ein leistungsfähiges Werkzeug, welches auf der Basis von SQL programmiert wird. Damit ist die Konfiguration der Datenbank durch das Einlesen des Produktspektrums und der vorhandenen Betriebsmittel komfortabel durchzuführen. Die Aktualisierung der Stammdaten wird durch Masken unterstützt.

Ein hoher Datenumfang bei den losbezogenen Ereignisdaten erfordert die automatisierte Datenübergabe. Mit dem SQL-Loader wurde auf ein externes Werkzeug zurückgegriffen, welches über vordefinierte Schnittstellen das Laden der Informationen in den DB-Kern vornimmt. Die Ereignisdaten werden in Form lesbarer ASCII-Dateien bereitgestellt und durch den SQL-Loader unter Einbezug von Kontrolldateien in die Datenbasis eingebracht. Damit steht das Datenmodell im relationalen Datenbanksystem zur Verfügung und kann durch die Berechnungsmodule ausgewertet werden.

7.1.2 Berechnungsebene

Die Berechnungsebene wird durch einzelne, in der Programmiersprache "C" realisierten Module repräsentiert. Der Zugriff auf die Datenbasis erfolgt über SQL-Befehle. Zur geeigneten Austausch- und Erweiterbarkeit wurde auf einheitliche Schnittstellen zur Datenübernahme und -übergabe zwischen den Berechnungsmodulen und der Datenbasis bzw. der Benutzeroberfläche Wert gelegt.

Die Spezifikation der Analyse in Form des gewünschten Losattributs, sowie der gewählten Betriebsmittel und Lose wird dem angesprochenen Berechnungsmodul übergeben. Die, die Aktionen auslösende Oberfläche erhält nach dem Zugriff auf die Datenbasis und nach erfolgter Berechnung die ermittelten Losattribute in Matrizenform zur weiteren Verarbeitung.

7.1.3 Anwenderschnittstelle des Informationssystems

Die Schnittstelle zum Anwender des Informationssystems bewältigt über eine grafische Benutzeroberfläche die beiden Hauptaufgaben

- Eingabe der Analysespezifikation und
- Visualisierung der Untersuchungsergebnisse.

Sie wurde mit dem "WINDOWS"-Anwendungsprogramm "Toolbook" erstellt. Dieses Softwarewerkzeug beinhaltet Werkzeuge zur Erstellung von Bildschirmmasken, zur Berechnung und zum Aufbau von Grafiken sowie zum Informationsaustausch mit externen Programmen.

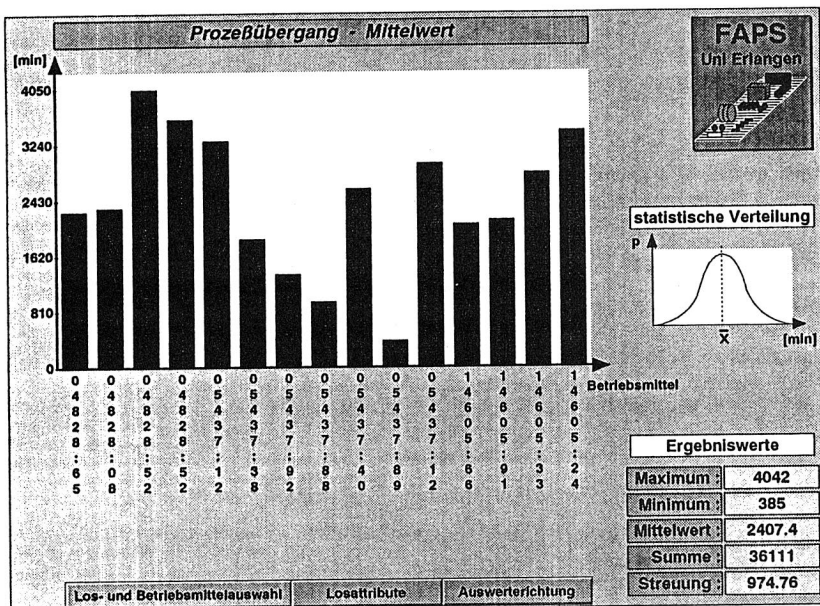
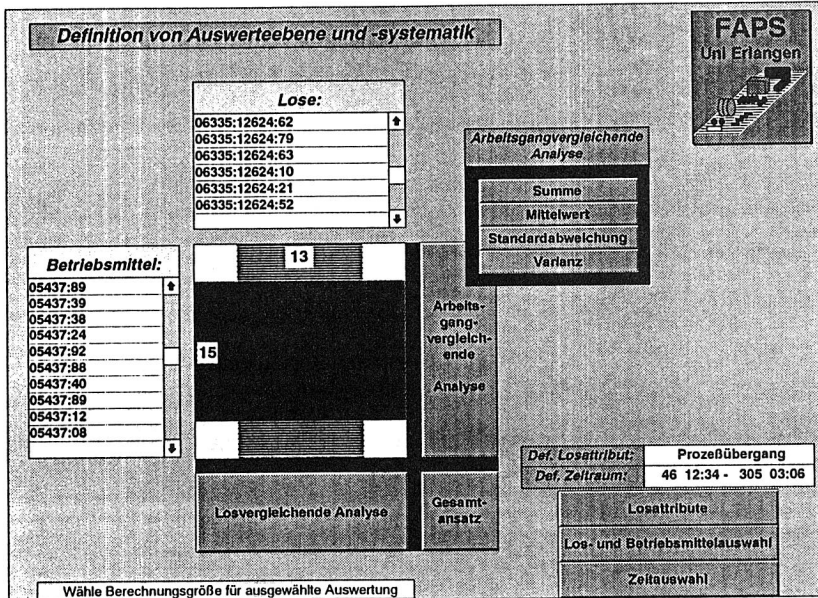


Bild 7.4: Darstellung einer Analysespezifikation und der Analyseergebnisse auf der grafischen Benutzeroberfläche (Bildschirmmasken)

Die Benutzeroberfläche "FAZIT" stellt dem Anwender Informationen zur Spezifikation der Analyse zur Verfügung. Nach der Auswahl eines Analysezeitraums werden die bearbeiteten Lose zur manuellen Auswahl angezeigt. Mit der Selektion der Lose ermittelt das System die, an der Bearbeitung beteiligten Betriebsmittel zur weiteren Einschränkung der Auswerteebene. Nach der Definition des Losattributs ist die Analysespezifikation abgeschlossen und wird an die Berechnungsebene übergeben. Die Oberfläche übernimmt nach dem Berechnungslauf die Werte des Losattributs über der Auswerteebene in Form einer Matrice zur Durchführung der statistischen Auswertung und zum Aufbau der Ergebnisgrafiken.

7.2 Anwendung der auftragsbezogenen Systematik im industriellen Umfeld

Angewandt und verifiziert wurde die hier dargestellte auftragsbezogene Strategie und Methodik in der Flachbaugruppenfertigung eines Elektronikwerks, dessen Produktspektrum in der Hauptsache Baugruppen für numerische Steuerungen und Regelungssysteme umfaßt. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise waren Schwachstellen in den Fertigungsabläufen zu lokalisieren und zu begründen, die durch das bisher angewandte anlagen- und bereichsbezogene Fertigungscontrolling bis dato nicht erkannt werden konnten.

7.2.1 Rahmenbedingungen der Untersuchung

Im folgenden sind die vorgefundenen Randbedingungen in Gestalt der Produkt-, Fertigungs- und Organisationsstruktur im Überblick dargestellt.

Produktstruktur und spezielle Anforderungen

In der untersuchten Produktionsstätte werden neben kundenorientierten Zuliefer-Flachbaugruppen in erster Linie Komponenten für die werksinterne Endgerätemontage hergestellt. Die Endgeräte beinhalten bis zu 40 Flachbaugruppen, die aus der Eigenfertigung mit einer Leistung von circa 620.000 Baugruppen pro Jahr bezogen werden. Daraus ergibt sich ein über 2000 verschiedene Baugruppentypen umfassendes Produktspektrum, von denen die überwiegende Mehrzahl in geringen Stückzahlen benötigt werden.

Für die FBG-Produktion ergeben sich daraus organisatorische Anforderungen:

- Die hohe Variantenvielfalt erzwingt starke Schwankungen in den benötigten Einzelkapazitäten der Fertigung.
- Die Vielzahl verschiedener Flachbaugruppen erzeugen eine hohe Bauelementevielfalt, die zusätzlich durch das Fehlen eines klaren Regelwerkes für die Entwicklung verstärkt wird.

- Durch die ständig wechselnden Baugruppen und Bauelemente entstehen Qualitätsprobleme, da ein "Lernprozeß" der Mitarbeiter bzw. iterative Prozeßverbesserungen hierdurch stark erschwert werden.
- Die Variantenvielfalt an Baugruppen und -elementen stellt besonders hohe Anforderungen an alle dispositiven und steuernden Funktionen der Produktion. Dies gilt sowohl im Vorfeld als auch innerhalb der Fertigung.

Durch einen hohen Funktionsumfang sowie durch den tendenziell wenig modularen Aufbau der stark kundenorientierten Steuerungs- und Antriebssysteme ergeben sich sehr komplexe Flachbaugruppen mit hoher Bestückdichte. Dies führt zu folgenden technologischen Anforderungen:

- Ein Großteil der Baugruppen sind beidseitig bestückt.
- Viele Baugruppen sind in Mischbestücktechnik aufgebaut, d.h. auf einer Baugruppe befinden sich sowohl SMD's als auch bedrahtete Bauelemente. Aufwendige Verfahren und Restriktionen in der Aufbau- und Verbindungstechnik sind die Folge.
- Auf vielen Baugruppen befinden sich neben Bauelementen der Mikroelektronik auch Leistungselektronikbausteine, deren Abmessungen meist ein Vielfaches der Mikroelektronikbauelemente betragen und somit einen hohen Bestückungsanteil für Sonderbauelemente verursachen.
- Infolge hoher Bestückdichte, großer Bauelementevielfalt und der Sonderkomponenten muß bei den Baugruppen nach einer automatischen noch eine manuelle Bestückung erfolgen.
- Die Anzahl der benötigten Technologien ist durch den komplexen Aufbau der Baugruppen erheblich und führt zu langen Prozeßketten. Die Sequenz der Arbeitsgänge enthält bis zu 60 Bearbeitungsschritte. Anforderungen an die Prozeßsicherheit der Fertigungsschritte als auch an die Werkstattsteuerung werden dadurch erhöht.
- Neben dem normierten Flachbaugruppenmaß "Doppelleuropa" (200 mm x 160 mm) existieren eine Vielzahl von Sondergrößen, wodurch sich für Handhabungstechnologien und Rüstvorgänge besondere Anforderungen ergeben.

Randbedingungen der Fertigung

Die Abarbeitung der vorgegebenen Arbeitsabläufe wird aufgrund der hohen Variantenvielfalt nach dem "Werkstättenprinzip" durchgeführt. Die vorliegende Organisationsform ist eine Mischung aus Kleinserienproduktion und Auftragsfertigung. Im Mittelpunkt stehen demnach der Fertigungsbereich bzw. die Anlagen oder Arbeitsplätze und nicht das einzelne Produkt, wie dies in Serienfertigungen mit dedizierten Linien für einzelne Produkte eher der Fall ist.

Entsprechend dieser anlagenorientierten Struktur ist die klassische Blickrichtung bei der Beurteilung der Fertigungseffizienz "vertikal", d.h. systemorientiert auf Anlagen und Kostenstellen ausgerichtet (z.B. Maschinenlaufzeiten, Bestückfehler/Anlage, Kapazitäten, Durchlaufzeit/Kostenstelle, Termintreue/Kostenstelle etc.).

Die produktseitigen Anforderungen hatten folgende Konsequenzen:

- in der Fertigung eine heterogene Struktur hinsichtlich der Automatisierung vorherrscht,
- vielfältige Technologien für die Bestück- und Verbindungstechnik eingesetzt werden,
- der Materialfluß weitgehend automatisiert über Fahrerlose Transportsysteme bewerkstelligt wird und
- die Kapitalintensität der Anlagen insgesamt hoch ist.

Die Ablauforganisation in der Fertigung bedient sich eines Rückmeldesystems, das für Bearbeitungsgruppen und für einzelne Betriebsmittel die jeweiligen Fertigungsaufträge an- und abmeldet. Diese Informationen werden eingesetzt zur:

- Lohnabwicklung,
- Kontrolle des Auftragsfortschritts,
- Steuerung der Transportsysteme und Lager sowie zur
- zeitoptimalen Bereitstellung von Steuerdaten für die automatisierten Fertigungssysteme.

Diese Ereignisdaten im Zusammenhang mit den Plandaten der Fertigung bilden die Grundlage für die durchgeführte, losbezogene Untersuchung.

7.2.2 Problemstellung und Schwerpunkt der Analyse

Durch Auswertungen des bereichsbezogenen Controlling-Systems der Fertigung ist die Ausprägung der durchschnittlichen Durchlaufzeit und der Terminabweichungen bekannt. Der Mittelwert der Durchlaufzeit weist mit 20 Arbeitstagen eine hohe Ausprägung auf. Mit einer Terminabweichung von bis zu 40 Arbeitstagen wird eine sehr ungünstige Situation deutlich (vgl. Abb. 7.5).

Die mangelhafte Termintreue in der Flachbaugruppenfertigung hat direkte Auswirkungen auf die Endgerätemontage. Aufgrund einzelner, fehlender Baugruppen können die Steuerungen und Antriebe nicht termingerecht fertiggestellt und dem Kunden ausgeliefert werden. Die Folge sind neben ungünstiger Außenwirksamkeit eine hohe Kapitalbindung durch wartende Komponenten sowie Eilaufträge in der

Fertigung. Die hohe Durchlaufzeit erfordert bei den kundenorientierten Produkten eine hohe Vorlaufzeit und verursacht damit lange Lieferfristen.

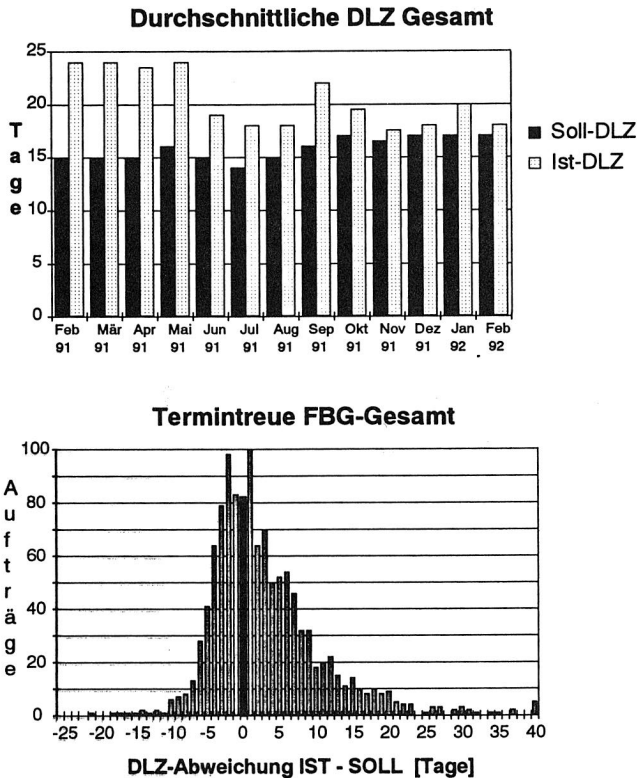


Bild 7.5: Termintreue der Fertigungsaufträge und durchschnittliche Durchlaufzeit

Um die Schwachstellen zu beheben, wurden bereits Maßnahmen in der Steuerungsstrategie (FiFo²) eingeleitet. Dabei konnten leichte Verbesserungen in der Durchlaufzeit erzielt werden. Die Termintreue hat sich aber weiter verschlechtert.

In diesem Themenkreis wird augenblicklich das größte Verbesserungspotential gesehen. Ziel der Untersuchung ist es daher Problemschwerpunkte einzugrenzen, Ursachen für die unbefriedigende Situation bei den Durchlaufzeiten und bei der Termintreue ausfindig zu machen sowie zielgerichtete Verbesserungsmaßnahmen zu entwickeln.

² First-in-first-out

Thematische Schwerpunkte

Thematische Schwerpunkte der Gesamtanalyse sind daher Termintreue und Durchlaufzeit der Fertigungsaufträge.

Die schrittweise Eingrenzung der Problembereiche und die Kausalitätsanalyse erforderten eine Vielzahl an Einzeluntersuchungen und statistischen Auswertungen mit jeweils unterschiedlichen thematischen Schwerpunkten in der Gestalt verschiedener Losattribute. Aus den vom Rückmeldesystem übernommenen Ereignisdaten konnten in Verbindung mit den Plandaten der Werkstattsteuerung die erforderlichen Losattribute ermittelt und zur Auswertung herangezogen werden.

Zur produkt- und arbeitsgangbezogenen Lokalisierung von hohen Beiträgen zu den Durchlaufzeiten bzw. von hoher Terminuntreue und zur Ursachenanalyse wurden folgende, arbeitsgangbezogene Losattribute eingesetzt:

- IST-Durchlaufzeit
- IST-Prozeßübergangszeit
- IST-Bearbeitungszeit
- SOLL-IST Durchlaufzeitabweichung
- SOLL-Beginn Termin
- IST-Ende Termin
- SOLL-IST-Ende Abweichung

Definition des Untersuchungszeitraums

Als Analysezeitraum wurde eine Periode von 4 Monaten gewählt. Diese Zeitperiode stellt einerseits die "aktuelle" Vergangenheit dar, wodurch die Zukunftsgültigkeit und Aktualität der zu erwartenden Aussagen gewahrt sind, andererseits ist durch den vergleichsweise langen Zeitraum die Repräsentativität der Ergebnisse gesichert.

Produkt- und arbeitsgangbezogene Schwerpunktsetzung

Aufgrund der hohen Losanzahl wurde eine Beschränkung der Untersuchung auf die Hauptprodukte der Fertigung erforderlich. Im vorliegenden Fall wurde die Wahl der zu analysierenden FBG-Typen auf der Grundlage von vier Kriterien durchgeführt:

- Gefertigte Menge der FBG-Typen nach Stückzahl und Umsatzanteil
- Kapitalbindung durch Umlaufbestand der Produktfamilien
- Fertigungsabläufe mit hohen Anteilen an kapitalintensiven Produktionsanlagen
- FBG-Typen mit hohen technologischen oder organisatorischen Anforderungen

Mit dieser Selektion wurden 32 % der im Analysezeitraum gefertigten Lose und Baugruppen erfaßt. Eine vorausgehende Einschränkung des Arbeitsgangsspektrums wurde nicht vorgenommen, da der Entstehungsort für die zu untersuchenden Themen nicht bekannt war. Damit ergibt sich die folgend dargestellte, maximale Auswerteebene für die anstehenden Analysen.

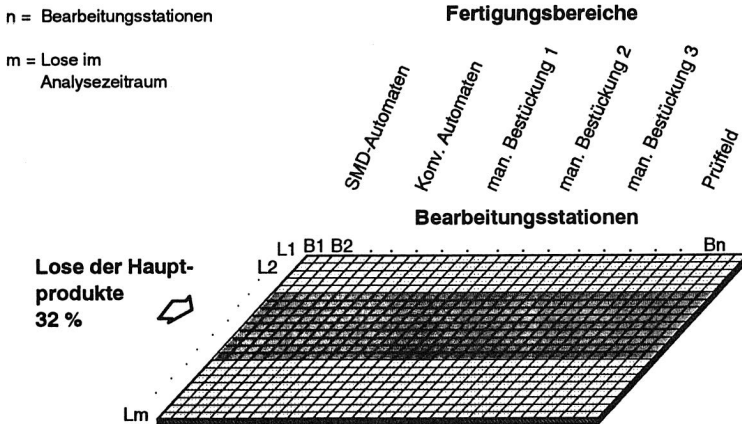


Bild 7.6: Maximale Auswerteebene für die losbezogenen Untersuchungen

7.2.3 Visualisierung des IST-Zustands und Eingrenzung der Problembereiche

Innerhalb dieser vordefinierten Auswerteebene sind die problematischen Aufträge/Produkte und Arbeitsgänge im Sinne der thematischen Schwerpunktsetzung herauszufiltern. Die Schwachstellen werden in Form besonderer Ausprägung der Durchlaufzeitanteile bzw. der Terminuntreue sichtbar.

Zur Lokalisierung dieser Problemfelder wird hierarchisch, von groben Strukturen ausgehend, vorgegangen. Im folgenden ist eine Auswahl der zielführenden Auswertungen und die daraus hervorgehenden Interpretationen dargestellt.

Gesamt-DLZ und Streuung:

Die stark wellenförmige Schwankung der Durchlaufzeit, hier verdeutlicht an den Losen eines Produkts, ist bei den meisten Varianten festzustellen und deutet auf entsprechende Schwankungen im Umlaufbestand hin. Störzeitanteile durch Unterbrechung normaler Fortschreibung der Fertigungsaufträge tritt sehr selten auf und scheidet als Einflußgröße aus.

Bei allen untersuchten Fertigungsaufträgen ist eine starke Streuung der Termintreue festzustellen, die meist einen Zeitraum von 20 Arbeitstagen (4 Wochen) abdeckt. Diese breite Verteilung läßt auf ein eher zufälliges Zustandekommen der tatsächlichen Durchlaufzeit schließen und ist nicht auf einzelne Produkte begrenzt.

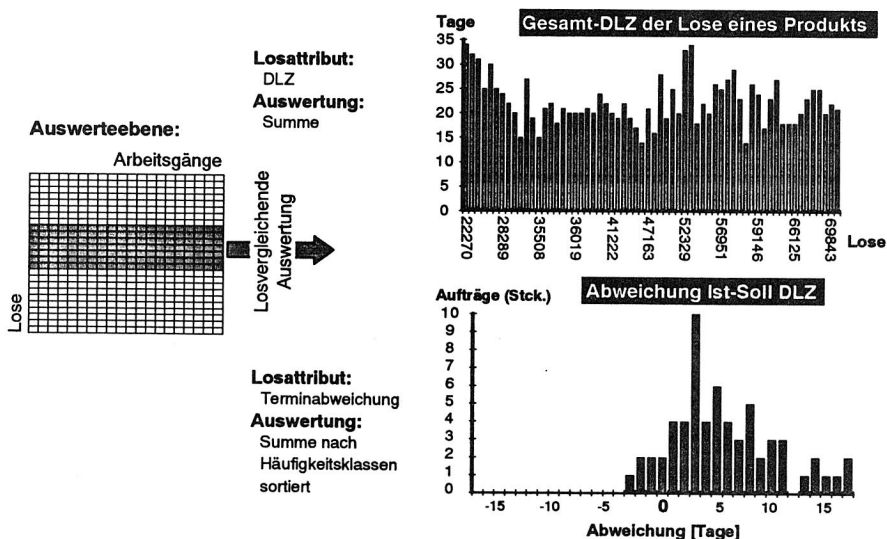


Bild 7.7: Repräsentative Ausprägung der Gesamt-DLZ und der Streuung von Durchlaufzeiten

Auswertung der Bearbeitungszeiten:

Im unteren Diagramm der Abbildung 7.8 sind die Auswertungen der Losattribute Soll- und Ist-Bearbeitungszeit überlagert dargestellt. Bei allen untersuchten Flachbaugruppentypen differieren die Soll- und Ist-Bearbeitungszeiten sehr stark. Dies deutet auf falsche Vorgabezeiten oder auf nicht der Realität entsprechendes Rückmeldeverhalten des Fertigungspersonals hin. Extreme Realitätsferne weisen die Meldungen im SMT-Bereich auf. Beim Arbeitsgang "Lötpaste auftragen" sind die Aufträge durchschnittlich 38 Std. in Bearbeitung, obwohl die Vorgabezeit nur 0,5 Std. umfaßt. Bei den nachfolgenden SMT-Stationen ist keine Bearbeitungszeit gemeldet, obwohl die Vorgaben im Stundenbereich liegen. Dieses Verhalten zeigt sich bei allen Produkten. Alle FBG-Typen zeichnen sich durch insgesamt stark unterschiedliche Vorgabezeiten aus. Diese unharmonische Kapazitätsbelastung führt zu einem ruckartigen und stockenden Materialfluß.

Entgegen den Erwartungen zeigt die Summe der Bearbeitungszeiten über dem Bearbeitungsablauf, hier dargestellt an den Losen eines Produkts, starke Schwan-

kungen. Damit erhärtet sich der Verdacht, daß unterschiedlich hoher Rüstaufwand für die Lose des Produkts anfallen und daß das Rückmeldeverhalten abschnittsweise nicht der Realität entspricht.

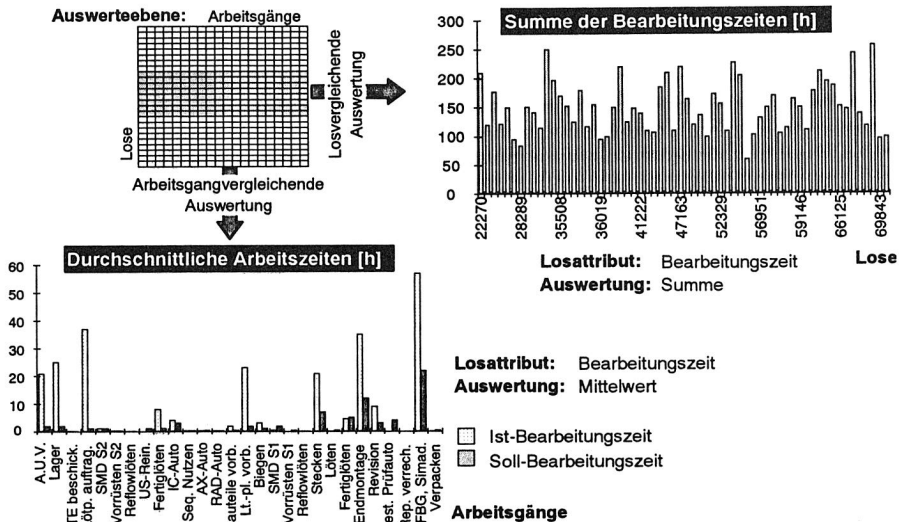


Bild 7.8: Auswertung der Bearbeitungszeiten

Auswertung der Übergangszeiten:

Besonders hohe Übergangszeiten treten bei Abteilungswechseln sowie bei den Arbeitsgängen "Biegen", "Stecken" und im Prüffeld auf. Durchschnittswerte von 5 Arbeitstagen (120 Std.) wie bei den Losen dieses Produkts am Bearbeitungsgang "Biegen" weisen auch andere Hauptprodukte gehäuft auf. Im Mittel sind die höchsten Übergangszeiten im Prüffeld zu verzeichnen. Damit ergibt sich eine betriebsmittelseitige Lokalisierung der gravierendsten Ausprägungen im Bereich des Prüffelds und der manuellen Bestückung.

Die Summen der Übergangszeiten für den gesamten Fertigungsdurchlauf der Lose zeigen ein hohes Niveau und Schwankungen um über 100 % vom Mittelwert. Dies deutet auf hohe Bestände und starke Pufferschwankungen in Teilbereichen der Fertigung hin. Daher ist es erforderlich arbeitsplatzspezifische Terminverschiebungen näher zu untersuchen und Arbeitsgänge bzw. -sequenzen, die entsprechend hohe Terminverschiebungen verursachen herauszufiltern. Dazu werden Einzellose mit extremen Terminabweichungen betrachtet.

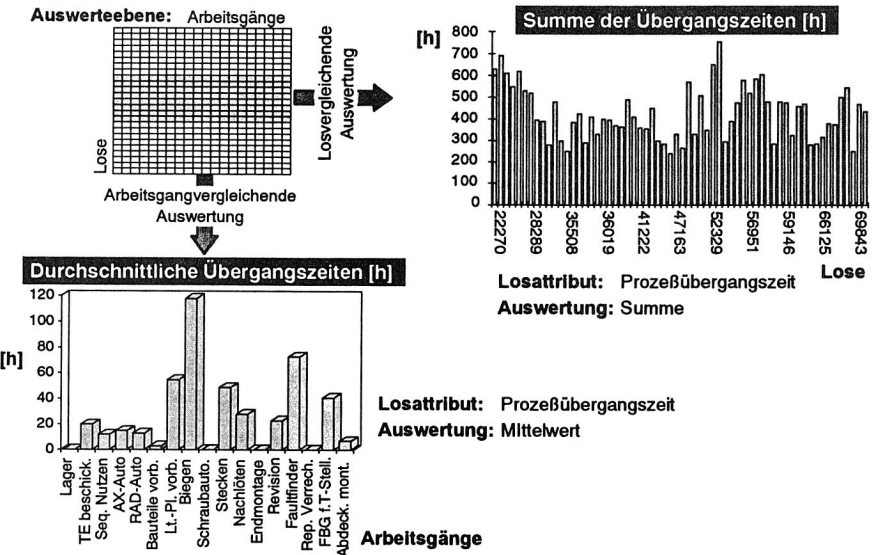


Bild 7.9: Auswertung der Übergangszeiten

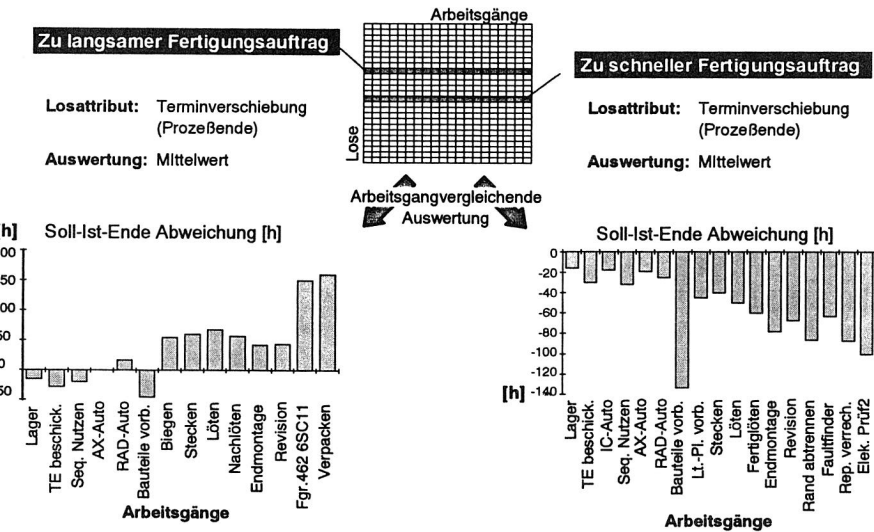


Bild 7.10: Terminverschiebungen einzelner extremer Fertigungsaufträge

Bei Fertigungsaufträgen mit hoher Verspätung wurde eine sprunghafte Terminverzögerung im Bereich der SMD-Bestückung detektiert. Zu schnelle Lose werden in diesem Bearbeitungssektor zusätzlich beschleunigt.

Die Abweichungen in der Termintreue, sowie die hohen Durchlaufzeiten betreffen alle Fertigungsaufträge der Hauptprodukte gleichermaßen. Eine produkt- oder losbezogene Problemeingrenzung ist daher nicht möglich. Herauskristallisiert haben sich hohe Terminverschiebungen und hoher Zeitverbrauch insbesondere im SMD- und im Prüfbereich sowie bei den Handbestückplätzen.

7.2.4 Ursache-Wirkungs-Ketten zu den lokalisierten Problembereichen

Nachdem die problematischen Betriebsmittel lokalisiert und die gemessenen Wirkungen bekannt sind, besteht die Aufgabe im Ermitteln der Ursachen-Wirkungs-Netze. Ihr Ziel ist es, die Beziehung zwischen den gemessenen Ausprägungen und den originären Ursachen herzustellen.

Entstehung und Wirkung von Auftragsblöcken

Die wichtigsten Voraussetzungen für kurze Durchlaufzeiten und hohe Termintreue sind gleichmäßige Pufferbestände auf möglichst niedrigem Niveau [125].

Stark unterschiedliche Übergangszeiten vor den lokalisierten Arbeitsgängen bestätigen, daß ein sprunghafter Auftragszugang an den problembehafteten Arbeitsgängen erfolgt. Die Auswertung des Losattributs "Bearbeitungszeit" an diesen Arbeitsgängen zeigt homogene, gleichmäßig verlaufende Werte. Damit scheiden anlagenbezogene Unterbrechungszeiten als Ursache aus.

Die Darstellung 7.11 zeigt, daß die Auftragseinlastung für die Lose einer Variante eher ungleichmäßig erfolgt. Im Bereich der SMD-Technologie erfolgt der Abfluß der Fertigungsaufträge in großen Sprüngen. Offensichtlich werden hier einzelne Fertigungslose eines gleichen Produkts vor der Bearbeitung, mit dem Ziel Rüstaufwand einzusparen, gesammelt. Diese sprunghafte Auftragseinlastung setzt sich bis in die Handbestückungsbereiche und das Prüffeld fort.

Infolge der stoßweisen Auftragseinlastung an den Handbestück- und den Prüfplätzen werden die Bereichsverantwortlichen gezwungen diese durch einen hohen Auftragsvorrat auszugleichen, um die kontinuierliche Beschäftigung gewährleisten zu können. Damit erklärt sich die hohe Durchlaufzeit an den kritischen Bearbeitungsgängen.

In der Revision wirkt der stoßweise Auftragszufluß besonders ungünstig, da bau-gruppenspezifische Prüfadapter nur in begrenzter Anzahl vorhanden sind und die Aufträge damit nicht auf mehrere Testeranlagen verteilt werden können. Neben der zusätzlichen Verschärfung der Terminuntreue und der Durchlaufzeitsituation ist die Auslastungssituation der äußerst kapitalintensiven Prüfsysteme dadurch unbefriedigend.

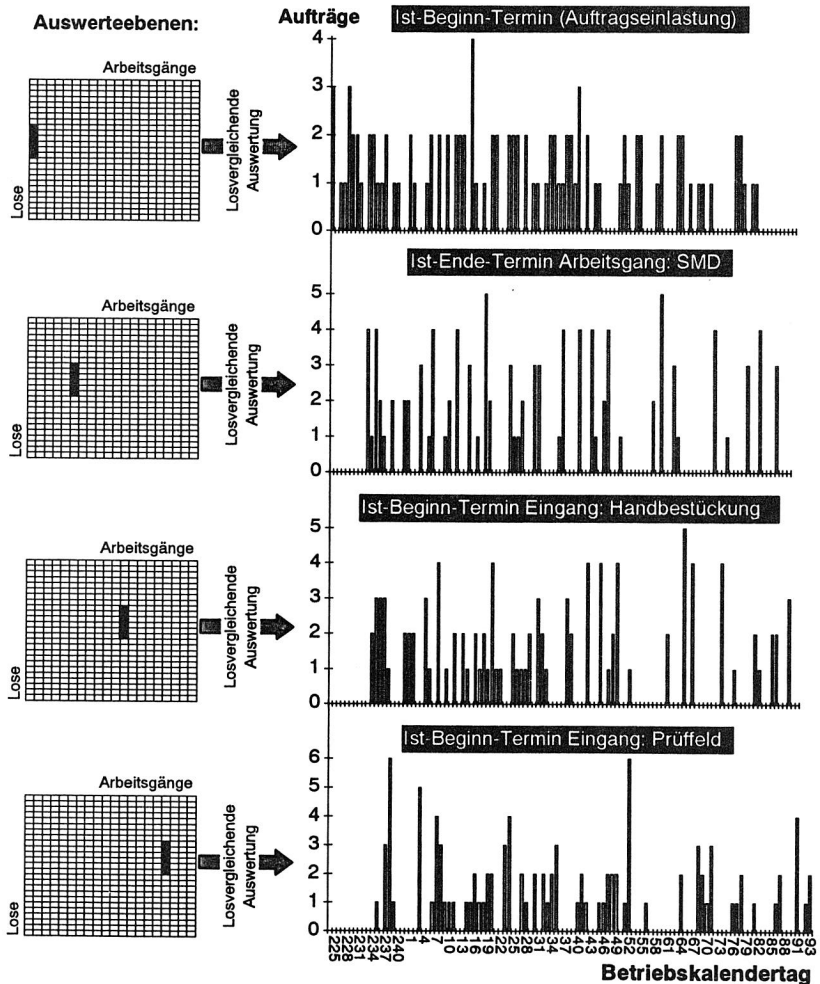


Bild 7.11: Auftragseinlastung und -abfluß an den lokalisierten Arbeitsgängen

Die Auftragsblockbildung im SMT-Bereich, mit dem lokal positiven Effekt der Einsparung von Rüstaufwand, hat äußerst negative Auswirkungen auf die Termintreue, die Durchlaufzeit und den Umlaufbestand in der Gesamtfertigung. Infolge der FiFo-Regelung an den Bearbeitungsgängen sind davon alle Fertigungsaufträge betroffen. Bemerkenswert ist, daß das erreichte Suboptimum in der SMT-Abteilung gravierend ungünstige Auswirkungen für nachfolgende Bereiche verursacht. Dieser Zusammenhang ist nur durch die prozeßorientierte, losbezogene Betrachtungsweise gesichert nachvollziehbar.

Die sehr hohe Streuung der zeitlichen Arbeitsinhalte im Bearbeitungsablauf der Lose (disharmonische Kapazitätsbelastung) trägt mit zu diskontinuierlichem Materialfluß und damit zur Terminuntreue sowie zu langen Durchlaufzeiten bei (vgl. Abb. 7.8).

Für die lokalisierten Problemstellen wurden Ursachen-Wirkungs-Netze aufgestellt, um sukzessive die eigentlichen Kernursachen zu ermitteln. Ausschnitte hieraus zeigt Abb. 7.12. Die Ursachen-Wirkungs-Netze dienen als Entscheidungsgrundlage für die Erarbeitung von Optimierungsmaßnahmen.

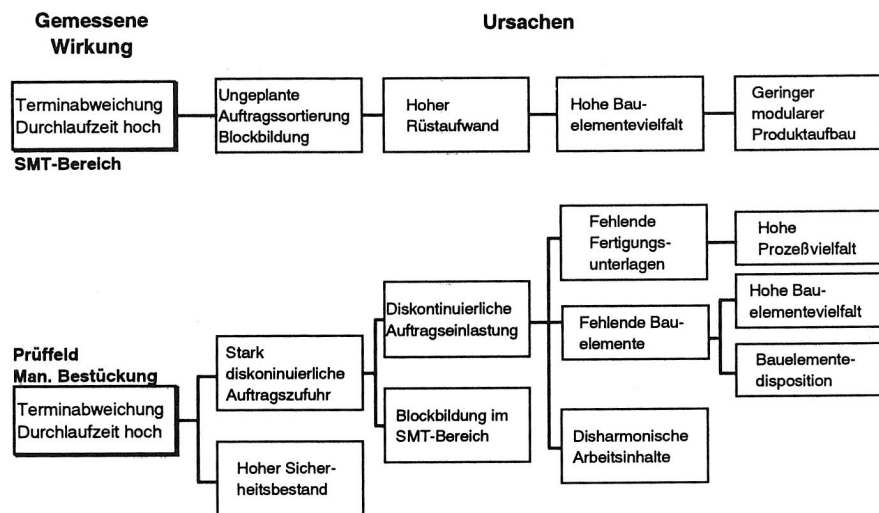


Bild 7.12: Ursache-Wirkungs-Ketten für die lokalisierten Problemstellen (Ausschnitt)

7.2.5 Produktionsinnovationen zur Optimierung der auftragsbezogenen Bearbeitungsabläufe

Zur Behebung der Schwachstellen wurden die folgenden Maßnahmen in Zusammenarbeit mit der Werksleitung definiert:

- Organisationsverbesserungen:
 - Es erfolgt eine ablauforganisatorische Trennung der automatisierten Fertigungsbereiche von den manuellen. Im Automatenbereich werden hohe Losgrößen gebildet. Der Abfluß in die nachfolgenden Handarbeitsplätze erfolgt in kleinen Losgrößen.
 - Die Führungskräfte der Fertigungsabteilungen werden über die Wirkung von Auftragsblöcken für die Gesamtfertigung aufgeklärt.
- Verfahrensverbesserungen:
 - Das PPS- und das Werkstattsteuerungssystem werden hinsichtlich der neuen ablauforganisatorischen Unterteilung der Fertigung angepaßt.
 - Das eingeführte "FiFo"-Prinzip an den Arbeitsgängen wird durch eine Prioritätensteuerung ersetzt.
 - Eine verbesserte Kommunikation und Abstimmung zwischen den Disponenten für die Bauelemente, Flachbaugruppen und Endgeräte wird angestrebt.
 - Es erfolgt eine Überprüfung der Dispositionsstrategie und -methode zur Reduktion der Fehlteile.
 - Eilaufträge und Sonderprogramme werden drastisch reduziert.
- Produktverbesserungen:
 - Im Entwicklungsbereich wird geprüft, inwieweit die Produktpalette zur Einschränkung der Variantenvielfalt modularisiert werden kann.
 - In der Entwicklung werden Bauelementkataloge erarbeitet, um die Bauelementevielfalt zu einzugrenzen.
- Prozeßverbesserungen:
 - In einer weiterführenden Untersuchung soll geklärt werden, ob der stark unterschiedliche Kapazitätsbedarf im Bearbeitungsablauf der Fertigungsaufträge durch eine Optimierung von Einzelprozessen harmonisiert werden kann.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Die Produktion elektronischer Baugruppen unterliegt, im Zuge einer stark innovativen Weiterentwicklung der Mikroelektronik, einem hohen, dynamisch verlaufenden Umfeldwandel mit steigender Veränderungsrate. Verbesserte Leistungsmerkmale der Baugruppen, wie Funktionalität und Größe, erzwingen die Abkehr von anwendungsneutralen Standardbaugruppen hin zu kundenorientierten Einzellösungen. Die damit einhergehende Zunahme der Variantenvielfalt und die überproportionale Miniaturisierung wird mit einem hohen, weiter steigenden Automatisierungsgrad im Fertigungsbereich bewältigt.

Als Folge dieser Entwicklung ergibt sich eine erhöhte Dynamik der Randbedingungen in der Fertigung durch erhöhten Kundeneinfluß sowie durch sich verkürzende Zyklen für Produkt- und Prozeßinnovationen. In Anbetracht verstärkter Automatisierungsbestrebungen ist der erhebliche Werteverbrauch - hinsichtlich Zeit, Qualität und Kosten - im Bearbeitungsablauf der Fertigungsaufträge durch die Fertigung selbst immer weniger beeinflussbar. Hier ist eine Bedeutungszunahme der Querschnittsfunktionen im Unternehmen, sichtbar durch eine Verantwortungssteigerung planender und steuernder Unternehmensfunktionen zu verzeichnen.

Ein gegenüber dem möglichen Optimum erhöhter Werteverbrauch im auftragsbezogenen Bearbeitungsablauf ist direkt eine Folge aller Planungs- und Ausführungsfehler in der Technischen Auftragsabwicklung. Angesichts verkürzter Vorlaufzeiten und zunehmender Wechselwirkungen, aufgrund gestiegener Produkt- und Prozeßkomplexität, wird die Wahrscheinlichkeit von Planungs- und Ausführungsfehlern erhöht.

Diese Entwicklungen fordern ein neues Verständnis für die Optimierung der Fertigung als Aufgabe des Operativen Fertigungscontrolling. Unter den Gesichtspunkten geringerer, schwer zugänglicher Rationalisierungspotentiale und einem dynamischen, komplexen Entscheidungsfeld in der Fertigung ist eine Hinwendung zu aktiven Optimierungszyklen mit gesicherter Verantwortungs- und Maßnahmenzuweisung an fertigungs- und -externe Bereiche notwendig.

Gefordert ist eine an der Prozeßkette orientierte, von der aufbauorganisatorischen Gliederung der Fertigung, unabhängige Betrachtungsweise. Die heute im Fertigungssegment vorliegende - zur Arbeitsweise im Planungssektor konträre - bereichs- und betriebsmittelbezogene Leistungsmessung ist aufgrund hoher Verdichtungsgrade, starker Periodizität und Variantenneutralität diesbezüglich als nicht mehr ausreichend anzusehen.

Ziel dieser Arbeit war es daher, die Entwicklungslinien in der Produktion elektronischer Komponenten zu ermitteln, auf die Auswirkungen hinsichtlich der Fertigungs-optimierung zu untersuchen, Defizite der heutigen Vorgehensweise aufzuzeigen und darauf aufbauend eine neue Strategie und Methodik sowie ein geeignetes, rechner-

gestütztes Hilfsmittel zur Entscheidungsunterstützung bei der Optimierungsplanung zu entwickeln.

Die erarbeitete Strategie beinhaltet die Abkehr von sektoralen abteilungs- und betriebsmittelbezogenen Optimierungsbestrebungen und stellt den gesamtheitlichen Bearbeitungsablauf der Fertigungsaufträge - als Optimierungsobjekt - in den Vordergrund. Im Gegensatz zum Fertigungsabschnitt sind die Zielfelder im Bearbeitungsablauf der Fertigungsaufträge durch geringere Zielvielfalt und -konkurrenzen gekennzeichnet und ermöglichen eine direkte Gegenüberstellung zu den Marktforderungen in Form von "Zeit, Qualität und Kosten".

Zur Lokalisierung von Verbesserungspotentialen und zur Ermittlung von Ursachen stehen die hinsichtlich des Werteverbrauchs quantifizierten, losbezogenen Bearbeitungsabläufe im Zentrum. Die wesentliche Voraussetzung für die Durchführbarkeit war die verursachungsgerechte und detaillierte Zuordnung der Fertigungsleistung zu den einzelnen Aufträgen im Rahmen des jeweiligen Bearbeitungsablaufs. Damit war der Bearbeitungsablauf eines Loses, analog zu den Zielfeldern, durch detailliert aufgeschlüsselte Zeit-, Stückzahl- und Wertverläufe über den Herstellungsablauf zu repräsentieren. Diese auftragsbezogene Quantifizierung ist Gegenstand statistischer Auswerteverfahren zur Eingrenzung von Verbesserungspotentialen auf Aufträge/Produkte und einzelne Arbeitsgänge. Der Produktbezug bietet die Voraussetzung für eine Ursachenverfolgung über das unmittelbare Fertigungssegment des Problemauftretens hinaus.

Auf Grundlage der hier entwickelten Strategie und Systematik losbezogener Quantifizierung wurde das Informationssystem "FAZIT" spezifiziert sowie exemplarisch implementiert. FAZIT gestattet dem Anwender die Untersuchung der Bearbeitungsabläufe auf Verbesserungspotentiale sowie die Ursacheneingrenzung durch detaillierte arbeitsgangbezogene Auswertung beliebiger Losattribute.

Die Problemstellung zur vorliegenden Arbeit ergab sich aus einer Reihe industrieller Kooperationen mit verschiedenen Herstellern elektronischer Baugruppen. Die Tragfähigkeit der erarbeiteten, produktbezogenen Systematik für die ganzheitliche Fertigungsoptimierung konnte im industriellen Umfeld mit Erfolg belegt werden.

Werden die quantifizierten Bearbeitungsabläufe in der vorliegenden Arbeit als "feed back" Information für Planung/Produktionssteuerung/Fertigung hinsichtlich der Auswirkungen auf den auftragsbezogenen Bearbeitungsablauf genutzt, so sind die gewonnenen produktbezogenen Erfahrungswerte - hinsichtlich arbeitsgangbezogener Fertigungsqualität, -zeit und -kosten - als "feed forward" Anwendung denkbar. Beispielsweise können sie eingesetzt werden für nach Aufträgen differenzierte Strategien bei der Produktions- und Werkstattsteuerung. Die Vision lautet "Einführung der Marktwirtschaft in der Fertigung" mit dem Fertigungsauftrag als Kunden und der Fertigungszelle (Betriebsmittel und Mensch) als Dienstleister.

9. Literaturverzeichnis

1. Abeln, O.
Die CA-Techniken in der industriellen Praxis, Carl Hanser Verlag, München, 1990
2. Aggteleky, B.
Fabrikplanung, Werkentwicklung und Betriebsrationalisierung, Band 1,2,3, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1990
3. Amman, W.; Hartberger, H.
Produktionssysteme modellieren und simulieren, in: Zwf 85/7/90, S. 348-351, Hanser Verlag, München, 1990
4. Amman, W.
Entscheidungsfindung mit Hilfe von Modellen, in: Die neue Fabrik '91, S. 28-31, Verlag Moderne Industrie, Landsberg, 1991
5. Aust, B.
Ein Bewertungsverfahren für die Produktionsplanung bei auftragsorientierter Werkstattfertigung, Dissertation Universität Göttingen, 1990
6. Barg, A.
Aufbau eines Informationsmodells für die Neustrukturierung der Produktion, Ein Beitrag zur Informationsverdichtung für die Langfristplanung im ganzheitlichen Sinne, Dissertation RWTH Aachen, 1991
7. Bauer, S.; Pack, J.
Handbuch für Organisation und Qualifizierung - Produktinnovation durch Mikroelektronik, VDE-Verlag, Berlin, 1989
8. Becker, M.; Koller, E.; Liebtrau, G.
Gestaltung von Informationssystemen, 1. und 2. Teil, in: io Management Zeitschrift 57 (1988) 11, S.508-511, 12, S. 570-573
9. Bölzing, D.
Kennzahlenorientierte Analyse rechnergestützter Fabrikautomatisierung, Hanser Verlag, München, 1990, Zugl.: Dissertation, Techn. Hochschule Darmstadt, 1990
10. Brachtendorf, Th.
Konzeption eines Informationsmodells für die fertigungsgerechte Konstruktion, Fortschritts-Bericht VDI, Reihe 1, Nr. 176, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989
11. Budde, R.; Maas, R.
Die Praxis der Betriebsdatenerfassung, VWP Verlag Wissen + Praxis, Köln, 1989
12. Burger, C.
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1991

13. Busch, U.
Produktivitätsanalyse, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1991
14. Camp, R. C.
Benchmarking - The search for industry best practices that lead to superior performance, ASQC Quality Press, Milwaukee USA, 1989
15. Clark, K. B.; Hayes, R. H.; Lorenz, C.
The Uneasy Alliance, Managing the Productivity-Technology Dilemma, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 1985
16. Cronshaw, M.; Davis, E.; Kay, J.
On Being Stuck in the Middle, Proceedings of the 4th British Academy of Management Annual Conference, John Wiley and Sons, September 1990
17. De Meyer, A.
"An Empirical Investigation of Manufacturing Strategies in European Industry", in: Voss, C. A. (Ed.), Manufacturing Strategy - Theory and Practice, Proceedings of the 5th International Conference of the UK Operations Management Association, MCB, June 1990, p. 555 - 579
18. Dertouzos, M. L.
Made in America - Regaining the Productive Edge, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1989
19. Edmondson, J. E.; Wheelwright, S. C.
"Outstanding Manufacturing in the Coming Decade", California Management Review, Vol. 31 No. 4, Summer 1989
20. Ehmann, B.
Produktinnovation und ihre Anforderungen an die Produktionstechnologie, in: Automatisierte Montagesysteme in der Elektronikproduktion, CIM Technologietransferzentrum Erlangen, 09. April 1992
21. Ehmann, B.
Technologieinnovation in der Unternehmensbranche Elektronik - Motivation, Beurteilungsgrundlage, Ansatzpunkte -, in: SMT/ASIC/HYBRID '91, Hrsg.: H. Reichl, Hüthig Verlag, Heidelberg, 1991
22. Ehrlenspiel, K.
Integrierte Produkterstellung, Organisation - Methoden - Hilfsmittel, in: Milberg, J. (Hrsg.), Referate des Münchner Kolloquiums '91, Wettbewerbsfaktor Zeit im Produktionsunternehmen, München, 1991
23. Eidenmüller, B.
Die Produktion als Wettbewerbsfaktor, Herausforderung an das Produktionsmanagement, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1989

24. Elbracht, D.; Wildemann, H.
Flexibilität und Wirtschaftlichkeit neuer Technologien in der Produktion, Tagungsbericht zum Symposium "Strategische Konzepte für die flexible und wirtschaftliche Fabrik der Zukunft", gfmt-Gesellschaft für Management und Technologie-Verlag, München, 1987
25. Eversheim, W.; Schönheit, M.
Kostenstrukturveränderungen flexibler Fertigung, in: VDI-Z 7/89, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989
26. Eversheim, W.; Groß, M.
Integrierte Auftragsabwicklung - Stand und Entwicklungstendenzen, in: Integrierte Auftragsabwicklung, VDI Bericht 898, S. 1-18, VDI Verlag, Düsseldorf, 1991
27. Fecht, M.
Auf dem besten Weg zu parallelem Material- und Informationsfluß dank BDE, in: Logistik im Unternehmen, 1/2/91, S. 93, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
28. Feldmann, K.; Roth, N.
Optimization of Set-up Strategies for Operating Automated SMT Assembly Lines, Annals of the CIRP, Vol. 40/1/1991, p. 433 - 436
29. Feldmann, K.; Ehmann, B.
Produktionssysteme in der Elektronik, Finanzierungsantrag zum Sonderforschungsbereich-356, Universität Erlangen-Nürnberg, 1991
30. Feldmann, K.; Flohr, R.
Rechnerintegrierte SMD-Bestückung-Forschung für die Praxis, in: SMD-Magazin, 1/1990
31. Feldmann, K.; Sturm, J.
Qualitätssicherung in der Elektronikbaugruppenproduktion durch prozeßbegleitende Prüfung, in: Tagungsbericht Leiterplatte'92, S. 223-236, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992
32. Feldmann, K.; Koch, M.; Zöllner, B.
Maschinenauslegung von Prozeßoptimierung, in: Tagungsbericht Leiterplatte'92, S. 1-25, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992
33. Feldmann, K.; Franke, J.
Neue Rationalisierungspotentiale durch Funktionsintegration, in: pa Produktionsautomatisierung, 3/92, Oldenburg Verlag, München, 1992
34. Feldmann, K.; Hopperdietzel, R.; Franke, J.; Liedl, G.
Recycling elektronischer Geräte, in: Elektronik H.15/92, S. 30-36, Franzis-Verlag, München, 1992
35. Feldmann, K.; Franke, J.
CAD/CAM Elektronik, in: schriftliche Unterlagen zum Seminar "CFA CIM-Fertigungsautomatisierung", Nürnberg, 1991

36. Föllinger, O.
Regelungstechnik, Hüthig Verlag, Heidelberg, 1990
37. Frese, E.
Zum Stellenwert von Markt und Technologie für die Organisation der Produktion, in: Bullinger H.J. [Hrsg.], Produktionsmanagement im Spannungsfeld zwischen Markt und Technologie, gmft, München, 1990
38. Gimpel, B.
Qualitätsgerechte Optimierung von Fertigungsprozessen, Dissertation RWTH Aachen, 1991
39. Grosche, C.; Bothe, B.
Von der Idee zum Markterfolg, Leitfaden für das Management von Innovationen, Fachverlag für Wirtschaft und Steuern Schäffer GmbH & Co, Stuttgart, 1985
40. Groth, U.; Kammel, A.
Kennzahlenverfahren zur Beurteilung und Analyse einer Fertigung, in: REFA-Nachrichten 3/92, REFA, 1992
41. Hackstein, R.; Gast, O.; Sieper, H. P.; Syska, A.
Entwicklung einer Kennzahlensystematik für die Logistik, Schlußbericht zum AIF-Forschungsvorhaben Nr. 6467, FIR Forschungsinstitut für Rationalisierung, Aachen, 1987
42. Hartberger, H.
Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme, Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, TU München, Springer Verlag, Berlin, 1991
43. Hesse, U.
Technologie-Controlling, Verlag Lang, Frankfurt am Main, 1990
44. Hildebrand, R.
Periodische kennzahlenbasierte Schwachstellendiagnosen im Fertigungsbereich, in: CIM Management 1/1992, S. 40 - 45
45. Hoitsch, H.-J.
Produktionscontrolling im CIM-Konzept, in: CIM Management 1/1992, S. 18 - 25
46. Honeck, H.-M.
Rückführung von Fertigungsdaten zur Unterstützung einer fertigungsgerechten Konstruktion, Dissertation Universität Karlsruhe, 1992
47. Horváth, P.
Controlling, 3. Auflage, Verlag Vahlen, München, 1990
48. Jünemann, R.
Planungs- und Betriebsführungs-Systeme für die Logistik, Deutsche Gesellschaft für Logistik e. V., Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1990

49. Kettner, P.
Konzeption eines Informationssystems für die Planung automatisierter Montagesysteme, Dissertation RWTH Aachen, 1987
50. Kiesewetter, S. A.
Entwicklung einer dynamisch adaptierten Produktionsregelung, Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, RWTH Aachen, 1991
51. Knoop, J.
Online-Kostenrechnung für die CIM-Planung, Prozeßorientierte Kostenrechnung zur Ablaufplanung flexibler Fertigungssysteme, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1986
52. Koch, L. F.
Konzeption eines Informationssystems für die technische Investitionsplanung in Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung, Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, RWTH Aachen, 1988
53. Koch, L. F.
Systemtechnik, Planung komplexer innovativer Systeme, Grundlagen, Methoden, Techniken, Springer-Verlag, Berlin, 1988
54. Köppe, D.
Ein Datenmodell für CAQ-Anwendungen in der rechnerintegrierten Produktion, Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, RWTH Aachen, 1991
55. Kozak, W.
Ein hierarisches Modellsystem zur strategischen und operativen Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung in der Automobilindustrie, Dissertation Ludwig-Maximilian-Universität München, 1985
56. Kraemer, W.; Wiechmann, D.
BDE-gestützte Kosteninformationssysteme, in: CIM Management, 3/90, S.10-21, 1990
57. Krause, F.-L.; Kleinhans, V.; Stephan, M.; Ulbrich, A.; Woll, R.
Rückführung von Informationen aus der Fertigung in die Produktentwicklung, in: Zwf, Nr. 8/92, S. 461-465, Carl Hanser Verlag, München, 1992
58. Krause, F.-L.
Informationstechnische Integrationsmodelle für Konstruktion und Arbeitsplanung, Zwf 83 (1988) 28 (Sonderheft), S. 36 - 38
59. Kreutzfeld, J; Schmidt, B.
Integrierte Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung, in: CIM Management Nr. 3, 1992
60. Küpper, H.-U.; Weber, J.; Zünd, A.
Zum Verständnis und Selbstverständnis des Controlling, in: ZfB, 60. Jg., S.281-293, 1990

61. Lochthowe, R.
Logistik-Controlling, Entwicklung flexibilitätsorientierter Strukturen und Methoden zur ganzheitlichen Planung, Steuerung und Kontrolle der Unternehmenslogistik, Verlag Peter Lang GmbH, Frankfurt am Main, 1990
62. Ludwig, E.
Wissensbasierte Diagnose von Fertigungsabläufen auf der Basis eines Produktionsprozeßmodells, in: BDE - BDV im Auftragsdurchlauf, VDI Verlag, Düsseldorf, S. 311-332, 1990
63. Lutz, B.
Trends in der Arbeitsorganisation in Anlagen mit hohem Automatisierungsgrad, in: Henning, K.; Süthoff, M.; Mai, M. (Hrsg.): Mensch und Automatisierung - Eine Bestandsaufnahme, Opladen 1990, S. 75-90
64. Mahr, T.
Vertikale Segmentierung eines Unternehmens nach produktionslogistischen Kriterien, 5. Deutscher Materialfluß-Kongreß Karlsruhe, VDI-Berichte 892, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
65. Maier, H.
Technische Informationssysteme: Notwendigkeit und Nutzen, aus: Tagungsband Proceedings, 7. Internationale Fachmesse und Anwenderkongress Stuttgart 1991, Müller adress + Neue Mediengesellschaft, Ulm, 1991
66. Männel, W.
Controlling-Konzepte für Industrieunternehmen, Dienstleistungsbetriebe und öffentliche Verwaltungen, Vortragsreihe, April 1987
67. Martin, T.
Das Verhältnis von Mensch und Automatisierung in der Produktion am Beispiel CIM, in: Henning, K.; Süthoff, M.; Mai, M. (Hrsg.): Mensch und Automatisierung - Eine Bestandsaufnahme, Opladen 1990, S. 91-106
68. Masaaki, I.;
KAIZEN - Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb, Langen Müller Herbig Verlag, München, 1992
69. Mayer, R.
Die Prozeßkostenrechnung als Instrument des Gemeinkostenmanagements, Controlling, Heft 6, Nov./Dez. 1991, S. 296 - 303
70. Mertens, P.; Griese, J.
Integrierte Datenverarbeitung, Band II, Planungs- und Kontrollsysteme in der Industrie, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1991
71. Mertens, P.
Integrierte Datenverarbeitung, Band I, Administrations- und Dispositionssysteme in der Industrie, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1991

72. Milberg, J.
Wettbewerbsfaktor Zeit in Produktionsunternehmen, Münchener Kolloquium '91, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, Technische Universität München, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1991
73. Mital, A.; Arnand, S.
Concurrent design of products and ergonomic considerations, in: Journal of Design and Manufacturing, Volume 2, Number 3, 9/92, Chapman & Hall, S. 167-183, 1992
74. Muschiol, M.
Rechnerunterstützte Informationsbereitstellung für den Konstruktionsprozeß am Beispiel montageorientierter Gestaltungsrichtlinien, Produktionstechnik - Berlin, Bd. 68, Carl Hanser Verlag, München / Wien, 1988
75. N. N.
Elektroindustrie in Zahlen, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) e. V. , Ausgabe 1992
76. N. N.
Leitlinien für eine marktorientierte Unternehmensführung, Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft, Eschborn, 1984
77. N. N.
Regelungstechnische Norm DIN19226
78. Necker, T.
Veränderung der Märkte und ihre Auswirkungen auf den Produktionsbetrieb, in: FTK'91 Fertigungstechnisches Kolloquium Stuttgart, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1991
79. Nyhius, P.
Durchlauforientierte Losgrößenbestimmung, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
80. Ochsenbauer, Chr.
Organisatorische Alternativen zur Hierarchie, Dissertation Universität München, 1988
81. Open System Architecture for CIM, ESPRIT Consortium AMICE (Eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1989
82. Panse, R.
CIM-OSA - Ein herstellerunabhängiges CIM-Konzept, in: DIN-Mitteilungen 69 Nr. 3, S. 157-164, 1990
83. Patzak, G.
Systemtechnik, Planung komplexer innovativer Systeme, Grundlagen, Methoden, Techniken, Springer-Verlag, Berlin, 1982
84. Pepe, D. F.
Logistikgerechte PPS-Systeme, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1990

85. Pfohl, H.-Chr.; Zöllner, W.
Effizienzmessung der Logistik, Betriebswirtschaft 51 (1991) 3, S. 323 - 339
86. Plinke, W.
Industrielle Kostenrechnung für Ingenieure, Springer Verlag, Berlin, 1989
87. Porter, M. E.
Competitive Strategy: Techniques for Analysing Industries and Competitors, The Free Press, USA, New York, 1980
88. Raas, F.
Auswirkungen neuer Produktionstechnologien auf betriebliches Rechnungswesen und operatives Controlling, Dissertation Hochschule St. Gallen, Schweiz, 1989
89. Radermacher, W.
Entwicklung eines Kosteninformationssystems für den Konstruktionsbereich, Dissertation RWTH Aachen, 1982
90. Reichmann, Th.
Controlling mit Kennzahlen, Verlag Franz Vahlen, München, 1990
91. Reichwald, R.
Grundprobleme der Erfassung von Arbeitsleistung in einer empirischen Theorie der betriebswirtschaftlichen Produktion, in: Köhler [Hrsg.], Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre, S. 229-248, Stuttgart, 1977
92. Reisert, Ph.
Konzeption eines integrativen Produktions-Controlling, Dissertation Hochschule St. Gallen, 1990
93. Rembold, U.; Blume, Chr.; Dillmann, R.
Computer-Integrated Manufacturing Technology and Systems, Marcel Dekker, Inc., New York, 1985
94. Remele, H.
Unternehmen mit Zahlen steuern, RKW - Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft, Beltz Offset, Hemsbach, 1990
95. Renner, A.
Kostenorientierte Produktionssteuerung, Dissertation, Univ. Stuttgart, Verlag Vahlen, Stuttgart, 1991
96. Roth, A. V.; Miller, J. G.
A Taxonomy of Manufacturing Strategies, Paper presented at the Ninth Conference of the Strategic Management Society, San Francisco, October 1989
97. Scheer, A.-W.
Architektur integrierter Informationssysteme: Grundlagen der Unternehmensmodellierung, Springer, Berlin, 1991

98. Schmerbeck, F.
Variantenreiche Serienmontage in der Elektronikfertigung, in: Integrierte Auftragsabwicklung, VDI Bericht 898, S. 199-207, VDI Verlag, Düsseldorf, 1991
99. Schott, G.
Kennzahlen, Instrument der Unternehmensführung, 4. Auflage, Forkel-Verlag, Stuttgart / Wiesbaden, 1981
100. Schreuder, S.; Upmann, R.
CIM-Wirtschaftlichkeit, Vorgehensweise zur Ermittlung des Nutzens einer Integration von CAD, CAM, PPS und CAQ, TÜV Rheinland, Köln, 1988
101. Schwamborn, W.
Planung eines Informationssystems für die Arbeitsvorbereitung in Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung, Dissertation RWTH Aachen, 1982
102. Seitzer, D.
Von der bestückten Leiterplatte zum System auf dem Chip, in: Tagungsunterlagen zu SMT/ASIC Int. Conf., 7.-9.6.88, S. 1-7, 1988
103. Seitzer, D.
Zum Wechselspiel zwischen Mikroelektronik und Informatik, GI'88, 18. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik in Verbindung mit CONCURRENCY '88, 17.-19.10.1988
104. Siegart, H.; Raas, F.
CIM-orientiertes Rechnungswesen, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
105. Slomka, M.
Methoden der Schwachstellen- und Ursachenanalyse in logistischen Systemen, Dissertation Universität Passau, 1989
106. Stark, J.
Competitive Manufacturing through Information Technology, Reinhold van Nostrand, New York, 1990
107. Suzuki, K.
Modernes Management im Produktionsbetrieb, Carl Hanser Verlag, München, 1989
108. Sweeney, M. T.
"Breakthrough to World Class Manufacturing - A Strategy for the Transformation", in: Voss, C. A. (Ed.), Manufacturing Strategy - Theory and Practice, Proceedings of the 5th International Conference of the UK Operations Management Association, MCB, June 1990, p. 841 - 860
109. Sweeney, M. T.
Towards a unified Theory of Strategic Manufacturing Management, in: International Journal of Operations & Production, Vol. 11 No. 8, pp 6-22, MCB University Press, 1991

110. Syska, A.
Entwicklung einer Vorgehensweise zur Bildung von betriebspezifischen Logistik-Kennzahlen, Dissertation RWTH Aachen, 1990
111. Systemtechnik - ein Instrument zur Unternehmensführung, Bayerischer Forschungsverbund Systemtechnik, Oktober 1991, Technische Universität München, 1991
112. Taylor, F. W.
Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung (The Principles of Scientific Management), neu herausgegeben und eingeleitet von W. Volpert u. R. Vahrenkamp, Nachdruck der autorisierten Ausgabe von 1913, 1. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, Weinheim/Basel, 1977
113. Töpfer, H.; Besch, P.
Grundlagen der Automatisierungstechnik, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1987
114. Tränckner, J.-H.
Entwicklung eines prozeß- und elementorientierten Modells zur Analyse und Gestaltung der technischen Auftragsabwicklung von komplexen Produkten, Dissertation RWTH Aachen, 1990
115. Warnecke H.-P.; Bullinger, H.-J.; et. al.
Kostenrechnung für Ingenieure, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1990
116. Warnecke, H. J.
Innovative Produktionsstruktur, in: FTK'91 Fertigungstechnisches Kolloquium in Stuttgart, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1991
117. Warnick, Bernd
Dezentrale Datenverarbeitung für Kostenrechnung und Controlling, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1991
118. Weber, J.; Kummer, S.
Aspekte des betriebswirtschaftlichen Managements der Logistik, in: Betriebswirtschaft 50 (1990) 6, S. 775 - 787
119. Weber, J.
Einführung in das Controlling, Teil 1 und 2, 3. Auflage, Poeschel, Stuttgart, 1991
120. Weber, J.
Logistik-Controlling, Pöschel, Stuttgart 1990
121. Westkämper, E.
Strategische Investitionsplanung mit Hilfe eines Technologie-Kalenders, in: Arbeitsunterlagen zu 7. Arbeitskreissitzung "Strategische Investitionsplanung für neue Technologien in der Produktion" S. 52-63, 6/1985

122. Wheelwright, S. C.
"Manufacturing Strategy: Defining the Missing Link", Strategic Management Journal, Vol. 5 No. 1, 1984, pp 77 - 91
123. Wiendahl, H.-P.; Penz, T.
Logistische Qualitätssicherung - Ein Ansatz zur Beherrschung reaktionsschneller Produktionsprozesse, in: Vernetzung von Produktionssteuerung und Logistik, S. 1-32, VDI Bericht 994, VDI Verlag, Düsseldorf, 1992
124. Wiendahl, H.-P.
Analyse und Neuordnung der Fabrik, Springer-Verlag, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1991
125. Wiendahl, H.-P., Lüssenhop, T.
Wirkung von Prioritätsregeln, Eine kritische Betrachtung, in: VDI-Zeitschrift 131, Nr.1, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989,
126. Wieselhuber, N.
Innovations-Management in der Unternehmenspraxis, RKW - Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft, 1987
127. Wildemann, H.
Die modulare Fabrik, GFMT, München, 1988
128. Wildemann, H.
Investitionsplanung und Wirtschaftlichkeitsrechnung für Flexible-Fertigungs-Systeme (FFS), Forschungsbericht, Universität Passau, 1987
129. Wildemann, H.
Methoden der strategischen Investitionsplanung für neue Technologien in der Produktion, Forschungsbericht, Universität Passau, 1986
130. Wolfstetter, G.
Moderne Verfahren der Kostenrechnung, Verlag Herne, Berlin, 1984
131. Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.;
Die zweite Revolution in der Autoindustrie, Campus Verlag, Frankfurt, 1991
132. Womack, J.P.; Jones, D.T.; Roos, D.
The machine that changed the world, Rawson Associates Macmillan Publishing Company, New York, 1990
133. Zahn, E.; Rüttler, M.
Informationsmanagement, Eine strategische Antwort auf kritische Herausforderungen der Unternehmensumwelt, Controlling 1 (1989) 1, S. 34 - 43

Lebenslauf

Bertram Ehmann

geb. am 4. September 1963 in Ulm

- 1970 - 74 Grundschule in 7947 Mengen
- 1974 - 83 Wilhelmitergymnasium in Mengen
Abschluß: Abitur
- 1983 - 89 Studium Maschinenwesen an der Technischen Universität München
Abschluß: Dipl.-Ing. (Univ.)
- 1989 - 93 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsauto-
matisierung und Produktionssystematik (Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann)
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- ab 1992 Oberingenieur und Leiter der Gruppe "EP - Elektronik-
produktion" am gleichen Lehrstuhl

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 Notling

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 Rohkarosserieherstellung**

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 Blech-
formteilen**

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.