

Forschungsberichte

iwb

Band 124

Helmut E. Mößmer

***Methode zur simulationsbasierten
Regelung zeitvarianter
Produktionssysteme***

***herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart***

Herbert Utz Verlag

UTZ

Forschungsberichte IWB

Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Technische Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Die Deutsche Bibliothek · CIP-Einheitsaufnahme

Mößmer, Helmut E.:

Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme /
Helmut E. Mößmer. -

München : Utz, Wiss., 1999

(Forschungsberichte IWB ; 124)

Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 1999

ISBN 3-89675-585-4

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 1999

ISBN 3-89675-585-4

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
Tel.: 089/277791-00 · Fax: 089/277791-01

Geleitwort des Herausgebers

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

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

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

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

Gunther Reinhart

Meinem Vater

Vorwort

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

Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, dem Leitern des Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr. rer. pol. habil Horst Wildemann, dem Leiter des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre mit Schwerpunkt Logistik der Technischen Universität München, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken.

Darüberhinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie allen Studenten, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben, recht herzlich. Diesen Dank möchte ich vor allem den Herren Dr.-Ing. J. Lorenzen, W.-E. Lulay, O. Murr, C. Selke und P. Neise aussprechen, die durch ihre Leistungen und stete Einsatzbereitschaft sehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Und nicht zuletzt gilt ein besonderer Dank meiner Familie und Freundin Sabine für die mentale Unterstützung sowie für die zeitintensive Korrektur meiner Arbeit.

München, im Juli 1999

Helmut E. Mößmer

1	EINLEITUNG	1
1.1	WANDEL DES BETRIEBLICHEN UMFELDES.....	1
1.2	ERFOLGSFAKTOREN PRODUZIERENDER UNTERNEHMEN.....	2
1.3	BEDEUTUNG DER PRODUKTIONSREGELUNG FÜR DIE WETTBEWERBSFÄHIGKEIT	2
2	ZIELSETZUNG DER ARBEIT	5
2.1	THEMENKREIS UND PROBLEMATIK.....	5
2.2	ZIELE.....	5
2.3	VORGEHENSWEISE	7
3	STAND DER TECHNIK	9
3.1	ZIEL UND VORGEHENSWEISE	9
3.2	ZIELE DER PRODUKTION.....	9
3.3	ABGRENZUNG DER FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE	10
3.4	THEMENKREISE BESTEHENDER ANSÄTZE	14
3.4.1	<i>Erweiterungen der konventionellen PPS</i>	14
3.4.2	<i>Ansätze zur Produktionsregelung</i>	17
3.4.3	<i>Störungsmanagement</i>	25
3.4.4	<i>Produktionsleittechnik</i>	28
3.4.5	<i>Logistik-Controlling</i>	29
3.5	METHODIK DER UNTERSUCHTEN ANSÄTZE	30
3.5.1	<i>Simulationstechnik</i>	30
3.5.2	<i>Künstliche Intelligenz (KI)</i>	33
3.5.3	<i>Kybernetik</i>	35
3.5.4	<i>Kennzahlensystem</i>	37
3.6	BEWERTUNG DER EIGNUNG DER UNTERSUCHTEN ANSÄTZE.....	40
3.7	ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN ZUR REGELUNG ZEITVARIANTER SYSTEME	43
3.8	ANFORDERUNGEN AN DAS REGELUNGSSYSTEM	45
3.9	ZUSAMMENFASSUNG.....	45
4	ABLEITUNG DES HANDLUNGSBEDARFES	47
4.1	ZIEL UND VORGEHENSWEISE	47
4.2	BESCHREIBUNG DER ZEITVARIANZ.....	47

4.3	BESCHREIBUNG DER ANFORDERUNGEN ZUR UNTERSTÜTZUNG DES PLANERS.....	49
4.3.1	<i>Entwurf einer geschlossenen Planungsmethode</i>	49
4.3.2	<i>Visualisierung der Interdependenzen einzelner Maßnahmen</i>	50
4.3.3	<i>Berücksichtigung der konfliktären Beziehungen der Zielkriterien.....</i>	50
4.3.4	<i>Visualisierung relevanter Größen bei einem Übergang von einem Betriebszustand zum nächsten.....</i>	51
4.4	ZUSAMMENFASSUNG.....	51
5	KONZEPTION FÜR DIE REGELUNG ZEITVARIANTER PRODUKTIONSSYSTEME	53
5.1	ZIEL UND VORGEHENSWEISE	53
5.2	PROBLEMSTELLUNG UND ANFORDERUNGEN AN DIE REGELUNG	53
5.3	ZU REGELNDE SYSTEME UND CHARAKTERISTISCHE EIGENSCHAFTEN	54
5.3.1	<i>Modellbildung in der klassischen Regelungstechnik</i>	54
5.3.2	<i>Modellbildung von Produktionssystemen.....</i>	54
5.4	BAHNPLANUNG UND PLANUNG DES MIGRATIONSPFADES.....	55
5.4.1	<i>Bahnplanung in der klassischen Regelungstechnik.....</i>	55
5.4.2	<i>Planung des Migrationspfades.....</i>	56
5.5	ABLEITUNG DER REGLERSTRUKTUR	59
5.5.1	<i>Konzept vermaschter Regelkreise</i>	60
5.5.2	<i>Bereichsübergreifende Regelung.....</i>	64
5.5.3	<i>Regelung auf Bereichsebene.....</i>	66
5.6	ABLAUF ZUR REGELUNG ZEITVARIANTER PRODUKTIONSSYSTEME	66
5.7	IDENTIFIKATION VON STELLGRÖßEN.....	68
5.8	ZUSAMMENFASSUNG.....	71
6	DARSTELLUNG DER PLANUNGSMETHODE	73
6.1	ZIEL UND VORGEHENSWEISE	73
6.2	PLANUNGSMETHODE ALS ZENTRALER BESTANDTEIL DES ÄUßEREN REGELKREISES	73
6.3	KONZEPT DES PLANUNGSSYSTEMS	74
6.4	VORGEHENSMODELL ZUR BESCHREIBUNG DER MIGRATIONSTRATEGIE	77
6.5	KONKRETISIERUNG DER PLANUNGSMETHODE	78
6.6	PHASEN DER PLANUNGSMETHODE	80

6.6.1	<i>Analysephase</i>	82
6.6.2	<i>Beschreibungsphase</i>	85
6.6.3	<i>Bewertungs- und Migrationsphase</i>	89
6.6.4	<i>Darstellung eines Maßnahmenkataloges</i>	90
6.7	ZUSAMMENFASSUNG.....	101
7	ÖKONOMISCHE BEWERTUNG VON MIGRATIONSSTRATEGIEN	103
7.1	ZIEL UND VORGEHENSWEISE	103
7.2	BEWERTUNG VON MIGRATIONSSTRATEGIEN.....	103
7.3	ENTSCHEIDUNGSRELEVANTE KOSTEN FÜR DIE BEWERTUNG VON MIGRATIONSSTRATEGIEN.....	104
7.4	UNTERSUCHUNG VON KOSTENRECHNUNGSVERFAHREN	105
7.5	BEWERTUNG DER KOSTENRECHNUNGSVERFAHREN.....	106
7.6	WIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG DES STRATEGISCHEN STEUERUNGSRRAUMES	108
7.6.1	<i>Änderung der Auftragsreihenfolge</i>	109
7.6.2	<i>Änderung der Auftragsgröße</i>	109
7.6.3	<i>Änderung der Veranlassungslogik</i>	110
7.6.4	<i>Anpassung des Kapazitätsangebotes an die –nachfrage</i>	110
7.6.5	<i>Änderung der Fertigungsstruktur</i>	111
7.7	BESTIMMUNG DER KOSTEN FÜR DIE MIGRATIONSSTRATEGIEN	113
7.7.1	<i>Betriebsmittelkosten</i>	113
7.7.2	<i>Transportkosten</i>	115
7.7.3	<i>Lagerkosten</i>	115
7.7.4	<i>Sonstige Kosten</i>	116
7.8	ZUSAMMENFASSUNG.....	118
8	VERIFIKATION DER PLANUNGSMETHODE AN EINEM PRAXISBEISPIEL	121
8.1	ZIEL UND VORGEHENSWEISE	121
8.2	ABLAUF BEI DER VERIFIKATION	121
8.3	AUFBAU DES BEREICHS ROHBAU	123
8.4	IMPLEMENTIERUNG DER METHODE	126
8.5	UMSETZUNG DER PLANUNGSPHASEN	126
8.5.1	<i>Beispielszenario für die Planungsmethode</i>	128

8.5.2	<i>Analysephase</i>	129
8.5.3	<i>Umplanungsphase</i>	131
8.5.4	<i>Bewertungsphase</i>	132
8.6	BEWERTUNG DER METHODE	134
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	137
9.1	ZUSAMMENFASSUNG	137
9.2	AUSBLICK	138
10	LITERATURVERZEICHNIS	141
11	ANHANG	151
11.1	DARSTELLUNG DES KENNZAHLENSYSTEMS FÜR UMPLANUNGSMAßNAHMEN.....	151
11.1.1	<i>Ressourcen</i>	151
11.1.2	<i>Fertigungsstruktur</i>	152
11.1.3	<i>Aufträge</i>	153
11.2	INTERDEPENDENZEN VON ÄNDERUNGEN AUF DAS KENNZAHLENSYSTEM	154
11.2.1	<i>Gewollte Änderungen</i>	154
11.2.2	<i>Ungewollte Änderungen- Störungen</i>	155
11.2.3	<i>Darstellung eines Maßnahmenkataloges</i>	156

1 Einleitung

1.1 Wandel des betrieblichen Umfeldes

Schlagworte wie "Globalisierung der Märkte", "zunehmende Innovationsdynamik", "Wandel von Verkäufer- zu Käufermärkten", "Verkürzung von Produktlebenszyklen", "Globalisierung der Ressourcenbeschaffung" und "Umweltorientierung" – um nur einige Beispiele zu nennen - charakterisieren die heute zu beobachtenden Veränderungen des betrieblichen Umfeldes (REINHART 1997 C; REINHART/LINDEMANN/HEINZL 1996; LUTZ 1996; PICOT 1996; SEITE 528).

War der Zielmarkt früher noch klar abgegrenzt, so zwingt die steigende Konkurrenz die Unternehmen heute, alle erreichbaren Absatzmärkte – auch im internationalen Umfeld - zu bedienen, sei es, um ihre Deckungsbeiträge zu erhöhen, um vorhandene Anlagenkapazitäten besser auszunutzen oder schlicht um die wirtschaftliche Existenz zu sichern. Damit verbunden ist eine spezifische Anpassung des Leistungsangebotes an die jeweiligen Absatzmärkte, also eine steigende Variantenvielfalt. Diese ist nur im Wege einer konsequenten Modularisierung des Produktionsprogrammes und einer effizienten Planung und Steuerung im Bereich der Produktion zu beherrschen. Gerade die mittel- bis langfristige Kapazitäts- und Terminplanung wird zunehmend schwieriger, so daß sich in Folge auch die kurzfristige Produktionssteuerung steigenden Anforderungen gegenüber sieht.

Die modernen Informations- und Kommunikationsmittel, z.B. das Internet, führen zu weltweit hoch transparenten Märkten, was zu steigendem Preiswettbewerb und damit zu einem enormen Kostendruck führt (HEINEN 1991, SEITE 241 FF).

Quantensprünge im Bereich der Verfahrens- und Prozesstechnik, in der Produktionstechnik sowie im Technologiebereich bieten zwar einerseits hervorragende Differenzierungs- und Kostensenkungspotentiale, erschweren andererseits jedoch in gleichem Maße das "handling" dieser neuen Technologien. Die immer komplexer werdenden Produktionssysteme erfordern geeignete Methoden und Hilfsmittel zur Beherrschung ihrer Komplexität.

Die zunehmende Sättigung der Märkte erfordert Möglichkeiten zur Differenzierung entweder im Bereich der Kosten oder im Qualitätsbereich, also hinsichtlich der Erfüllung von Kundenanforderungen durch die angebotene Leistung. Dies verschärft nicht nur das bereits angesprochene Problem des Variantenmanagements, sondern verstärkt auch die Notwendigkeit einer Antizipation und schnellen Reaktion auf Kundenwünsche und die Entwicklungen des Marktes bzw. das Verhalten der Konkurrenz. Zuverlässigkeit der Produkte, Sicherheit usw. werden dabei als selbstverständlich vorausgesetzt. Die immer kleiner werdende Verweildauer eines Produktes im Markt erschwert jedoch die Amortisation der Marktvorbereitungs-, Forschungs- und Entwicklungskosten, so daß eine kürzere "time-to-market" immer größere Bedeutung erlangt.

Die Ansprüche der Käufer sind hinsichtlich Funktionalität und Qualität gestiegen; auch werden häufig zu lange Lieferzeiten mit einer Abwanderung zur Konkurrenz beantwortet (EVERSHEIM 1995, PICOT 1996, SEITE 4).

1.2 Erfolgsfaktoren produzierender Unternehmen

Die Ausführungen machen deutlich, daß gerade die Geschwindigkeit, mit der ein Unternehmen Änderungen durchzuführen und damit Aufträge abzuwickeln vermag, über Erfolg oder Mißerfolg entscheidet, denn: „*Nicht die Großen fressen die Kleinen, sondern die Schnelleren die Langsamen*“ (SIMON 1997).

Neben diesen externen Faktoren gilt es aber auch, interne Anforderungen wie organisatorische Fehler oder technische Störungen zu beherrschen. Dabei sind sowohl präventive als auch reaktive Maßnahmen vorzusehen. Organisationsbedingte Probleme, z.B. lange Auftragsdurchlaufzeiten, gilt es zu lösen.

Vor diesem Hintergrund sind neben Kriterien wie "Kosten" und "Qualität" gerade "Zeit" und "Flexibilität" aus wettbewerbsstrategischer Sicht von entscheidender Bedeutung.

Unter dem Wettbewerbsfaktor "Zeit" lassen sich die Forderungen nach kurzen Durchlaufzeiten, einer schnellen Reaktionszeit auf Änderungswünsche und einer hohen Termintreue subsumieren. Je kleiner die Durchlaufzeiten in der Wertschöpfungskette sind, desto genauer müssen unter dynamischen Umwelteinflüssen auch die zur Planung und Steuerung der Produktion notwendigen Prognosen sein (WILDEMANN 1994, SEITE 9).

"Flexibilität" beschreibt in diesem Zusammenhang die grundlegende Fähigkeit eines Unternehmens zur Adaption der Produktionsstruktur an die geänderten Umfeldbedingungen, aber auch der eingesetzten Planungs- und Steuerungsmethoden.

1.3 Bedeutung der Produktionsregelung für die Wettbewerbsfähigkeit

Die bislang übliche Praxis, über großzügige Vorgabezeiten, Überkapazitäten und Bestandspuffer die notwendigen Flexibilitätsreserven in der Produktion vorzuhalten, ist aufgrund der damit verbundenen Nachteile nicht mehr haltbar. Zum einen bedeutet dieses Vorgehen unnötig hohe Kosten, zum anderen verdecken gerade zu hohe Bestände störanfällige Prozesse, unabgestimmte Kapazitäten, mangelnde Flexibilität, Ausschuß sowie geringe Liefertreue (WILDEMANN 1994, SEITE 7).

Um die beschriebenen Erfolgsfaktoren erreichen zu können, sind Produktionssysteme flexibel zu gestalten und die angewendeten Verfahren zu verbessern. In diesem Zusammenhang ist die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) in der betrieblichen Praxis ein wichtiges Werkzeug zur zielorientierten Optimierung der Produktionsabläufe.

Hier zeigen sich jedoch große Defizite bei der Abbildung der Dynamik von Prozessen und der unmittelbaren Umsetzung von Zielvorgaben (EVERSHEIM 1989, WIENDAHL 1993B, SEITE 265FF, KAHLE 1996). Die eingesetzten stark statischen Systeme lassen eine aus-

reichende Rückkopplung der Produktionsergebnisse in die Planung sowie eine Abstimmung der Maßnahmen hinsichtlich der zum Teil konkurrierenden Ziele (Auslastung vs. Durchlaufzeit) vermissen. Daher wird häufig gefordert, die klassische Steuerung durch ein Regelungskonzept zu ersetzen (MILBERG 1991, WILDEMANN 1994). Die Produktionsregelung verfolgt allgemein das Ziel, über eine situationsbezogen regelnde Arbeitsweise die Flexibilität, die Effektivität und die Effizienz der Aufgabenausführung im Rahmen der Produktionsleittechnik zu erhöhen (BURGER 1991, SEITE 73). Im Rahmen bisheriger Ansätze werden Regelungsansätze zur Fertigungsterminplanung und -steuerung, zur Bestandsregelung sowie zur Koordination zwischen Fertigung und Montage behandelt (BAMBERGER 1996, BURGER 1991, MARTIN 1998, PETERMANN 1996, SIMON 1995, WIENDAHL 1997, ZETLMAYER 1994).

Gelingt es, gerade die dynamischen Änderungen und ständigen Anpassungserfordernisse im Umfeld der Produktion in einem umfassenden Regelungskonzept zu berücksichtigen, ist ein weiterer wichtiger Schritt in Richtung Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit getan. Die dynamischen Änderungen im turbulenten Umfeld erfordern von einem zukünftigen Regelungsansatz nicht nur die Ausregelung von aufgetretenen Störungen zurück in den ursprünglichen Betriebszustand, sondern in gleichem Maße die Unterstützung bei der Überführung von Produktionssystemen in einen neuen Betriebszustand. Dieser neue Betriebszustand unterscheidet sich vom ursprünglichen Betriebszustand durch andere Rahmenbedingungen (z.B. bezüglich der Anordnungsstruktur der Fertigung bzw. Montage) und geänderte logistische Zusammenhänge des Produktionssystems. Diese Überführung des Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand wird als Migration bezeichnet. Die Migration regelungsbasiert durchzuführen, ist die Anforderung an erweiterte Produktionsregelungskonzepte. In diesem Zusammenhang wird in dieser Arbeit von der *Regelung zeitvarianter Produktionssysteme* gesprochen, wobei sich die *Zeitvarianz* auf die Änderung der Anordnungsstruktur (Fertigung bzw. Montage) und auf die Änderung der Steuerungsstrategien bezieht. Im Rahmen dieser Arbeit werden die bisherigen statischen Regelungsansätze (Regelung auf den ursprünglichen Betriebszustand) um eine dynamische Komponente erweitert. Diese dynamische Komponente bezieht sich auf die regelungsbasierte Überführung des Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand.

Abbildung 1 gibt eine Zusammenfassung der Defizite klassischer Produktionsregelungsverfahren zur Regelung zeitvarianter Produktionssysteme.

- **Fehlende Transparenz der Umplanungsschritte**
- **Fehlende oder unzureichende Kontrollsysteme**
- **Verzögerte Informationsrückkopplung**
- **Fehlende Simulationsmöglichkeiten**

Abbildung 1: Defizite klassischer Produktionsregelssysteme

2 Zielsetzung der Arbeit

2.1 Themenkreis und Problematik

Bestehende Ansätze zur Produktionsregelung sind weitgehend für einen stationären Betrieb konzipiert. Sowohl das Produktionsprogramm als auch das Produktionssystem und die eingesetzten Steuerungsmethoden werden dabei als unveränderliche Größen angesehen (AMANN 1994, BAMBERGER 1996, BURGER 1991, MARTIN 1998, ZETLMAYER 1994). Die vielfach auftretenden technischen Störungen werden insoweit berücksichtigt, als deren schnelle Beseitigung und eine damit verbundene schnelle Rückführung der Produktionssysteme in den *ursprünglichen* Betriebszustand im Mittelpunkt des Regelungskonzeptes stehen.

Der Prozeß des *Übergangs* (Migration) bei Produktwechsel und Änderungen in Produktionssystemen läuft heute noch zu wenig unterstützt ab. Neben dem Ausgangszustand des Systems ist häufig lediglich der gewünschte Endzustand definiert oder planerisch ermittelt worden. Es fehlt eine *geschlossene Methode*, den Übergang als einen kontinuierlichen Prozeß zu planen und zu modellieren. Insbesondere liegt das Defizit in der unzulänglichen Betrachtungsmöglichkeit von komplexen Wechselwirkungen zwischen Einzelmaßnahmen. So müssen beispielsweise bestimmte Strategieänderungen (z.B. zusätzliche Produktion auf Lager) einer Strukturänderung (z.B. Ersatz einer Maschine) vorausgehen.

Derzeitige Hilfsmittel zur Produktionsregelung haben die Wirkung, daß ein Produktionssystem bei kleinen Störungen wieder in den ursprünglichen Betriebszustand zurückge-regelt wird. Störungen größerer Reichweite, wie z.B. der längere Ausfall eines Engpaß-arbeitsplatzes oder auch die Umorganisation von Fertigungsbereichen bei Produkt- oder Produktionsprogrammänderungen, bewirken aber entweder eine gravierende Abweichung vom eingeregelteten Betriebszustand oder einen befristeten oder dauerhaften Wechsel des Betriebszustandes.

2.2 Ziele

Hauptziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine *Methode für einen regelungstechnisch beherrschten Betrieb von zeitvarianten Produktionssystemen* zu erarbeiten (siehe Abbildung 2). Die Überführung des Systems in einen neuen Betriebszustand ohne Überschwingverhalten des Produktionssystems wird in diesem Zusammenhang als beherrschter Betrieb verstanden.

Dabei sind zwei Schwerpunkte zu berücksichtigen:

- Einerseits sind – wie bei bereits bestehenden Ansätzen – technische oder organisatorische Störungen auszuregeln,

- andererseits müssen gerade beabsichtigte Änderungen hinsichtlich des Produktionsprogramms oder des Produktionssystems derart berücksichtigt werden, daß das Regelungsmodell einen transparenten und beherrschten Übergang sowohl planerisch als auch bei der operativen Durchführung unterstützt.

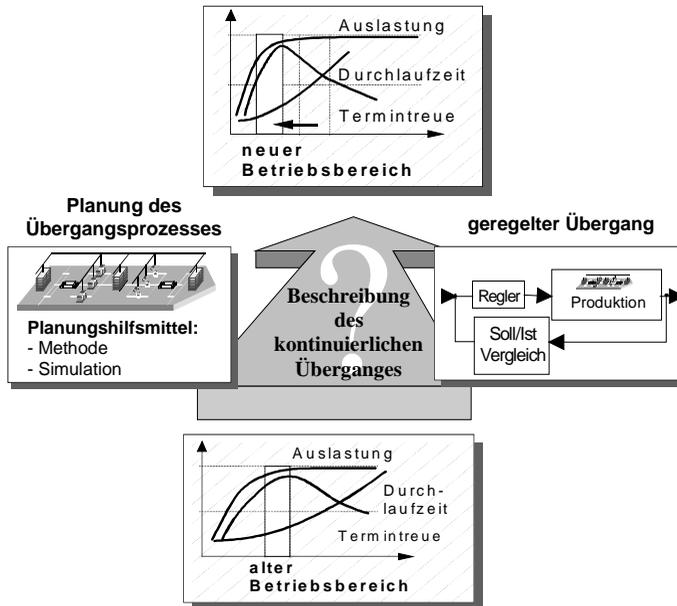


Abbildung 2: Problemstellung für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme

Um einen gezielten Wechsel des Betriebszustandes eines Produktionssystems vornehmen zu können, sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Es sind Methoden zur Modellierung des Übergangsprozesses als Basis für eine Planung zu entwickeln (Abbildung 2: links).
- Eine kontinuierliche Visualisierung des Übergangsprozesses bildet die Voraussetzung für eine frühzeitige Abweichungserkennung.
- Der Übergangsprozeß ist zur Minimierung von Zieldifferenzen geregelt durchzuführen. (Abbildung 2: rechts).

Darüber hinaus sind die in der Literatur aufgezeigten Unzulänglichkeiten der konventionellen PPS-Systeme und die damit verbundenen Probleme in den Anforderungskatalog an das zu erarbeitende Konzept mitaufzunehmen und Lösungsansätze zu erarbeiten.

2.3 Vorgehensweise

Im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit soll eine Methode entwickelt werden, die es erlaubt, einen Wechsel des Betriebszustandes von Produktionssystemen gezielt zu planen und den geplanten Übergang geregelt durchzuführen. Bei dieser Betrachtung soll es unerheblich sein, ob dieser Betriebszustandswechsel durch eine geplante Veränderung des Produktionssystems oder durch eine schwerwiegende Störung verursacht wurde.

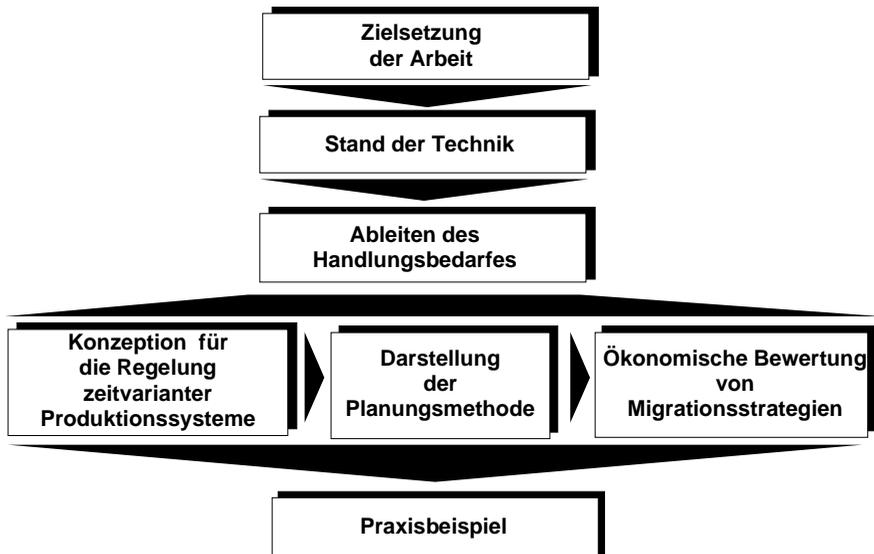


Abbildung 3: Vorgehensweise zur Behandlung der Problematik

Das Ziel soll durch folgende Vorgehensweise erreicht werden (siehe Abbildung 3): Nach der Einleitung wurde in diesem Kapitel die Zielsetzung der Arbeit erläutert.

Im *dritten Kapitel* erfolgt aufbauend auf der Zielsetzung für diese Arbeit die Darstellung des Standes der Technik. Dazu wird eine Abgrenzung der Forschungsschwerpunkte betreffend der Methodiken Simulation, KI (Künstliche Intelligenz), Kennzahlen und Kybernetik vorgenommen. Anhand einer Tabelle werden die behandelten Fachgebiete bestimmten Themenfeldern zugeordnet. Die Themenfelder stellen beispielsweise die Regelungstechnik, das Störungsmanagement, Logistik-Controlling etc. dar. Im Zuge der Bewertung der bestehenden Ansätze für die Zeitvarianz werden zusätzliche Anforderungen an die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme abgeleitet.

Zur Konkretisierung der Anforderungen wird im *vierten Kapitel* aus dem Stand der Technik der Handlungsbedarf abgeleitet. Dabei steht primär die Beschreibung der Zeitvarianz im Vordergrund. Im weiteren werden die Anforderungen zur Unterstützung des Planers beschrieben. Diese ergeben sich aus der geschlossenen Planungsmethode, der Visualisierung der Interdependenzen einzelner Maßnahmen sowie der Berücksichtigung konfliktärer Beziehungen von Zielkriterien.

Aus den Erfordernissen zur Regelung zeitvarianter Produktionssysteme und den Defiziten des aktuellen Standes der Technik wird im *fünften Kapitel* der prinzipielle Aufbau der Reglerstruktur beschrieben. Den Einstieg in die Theorie der Regelungstechnik bildet eine Analogie von traditioneller Regelung zur geplanten zeitvarianten Produktionsregelung. Dabei erfolgt eine Differenzierung in eine bereichsübergreifende Regelung und eine Regelung auf Bereichsebene. Nach der Beschreibung des Grobablaufes der Regelung werden anhand des „Strategischen Steuerungsraumes“ Stellparameter für Regelung identifiziert und deren Interdependenzen untereinander dargestellt.

Den zentralen Inhalt des bereichsübergreifenden Regelkreises bildet das Planungssystem. Zur Überführung des Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand sind unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen. Die Identifikation dieser Anforderungen und die Entwicklung der Methode beschreibt das *sechste Kapitel*. Speziell bei der Modellbildung werden in Erweiterung zur traditionellen Modellerstellung zusätzliche Anforderungen gestellt. Diese beziehen sich auf die Struktur- und Strategievarianz. Ein Ergebnis des sechsten Kapitels bildet das Vorgehensmodell zur Beschreibung des Migrationspfades. Die Migration beinhaltet dabei die Maßnahmen, die zur Überführung eines Produktionssystems notwendig sind. Die Planungsmethode wird aufgeteilt in drei Phasen: Analyse, Beschreibung und Migration. Den Schwerpunkt bildet dabei die detaillierte Beschreibung dieser drei Phasen und die Integration der Ablaufsimulation, sowohl planungs- als auch betriebsbegleitend. Abgeschlossen wird die Beschreibung der Planungsmethode durch die Darstellung eines Maßnahmenkataloges zur Erzeugung von Migrationsstrategien. Eines der wesentlichen Ziele der Migrationsplanung und deren anschließenden Umsetzung bildet die stabile und zeitgerechte Überführung des Systems in einen definierten Betriebszustand.

Aufgrund wirtschaftlicher Gesichtspunkte ist es unerlässlich, die entstehenden Kosten zu quantifizieren und den einzelnen Strategien zuzurechnen. Diesem Sachverhalt widmet sich das *siebte Kapitel*. Dazu werden bestehende Kostenrechnungsverfahren analysiert und anhand entwickelter Bewertungskriterien auf ihre Eignung für die Bewertung zeitvarianter Vorgänge untersucht. Durch dieses Verfahren ist es möglich, die entscheidungsrelevanten Kosten zu identifizieren und verursachungsgerecht den Kostenträgern (Maßnahmen) zuzurechnen.

Im letzten Kapitel wird die Anwendung der Planungsmethode anhand eines Beispiels aus der Automobilbranche aufgezeigt und bewertet.

3 Stand der Technik

3.1 Ziel und Vorgehensweise

Die Untersuchung bestehender Möglichkeiten zur Planung und Überführung von Produktionssystemen in einen neuen Betriebszustand soll einerseits den Handlungsbedarf und andererseits Lösungsansätze zur Verbesserung aufzeigen. Erfolgsversprechende Ansätze sollen dabei in diese Arbeit miteinfließen, wenn sie dazu beitragen, die im vorherigen Kapitel ermittelten Anforderungen zu erfüllen. Zu Beginn der Analyse werden die Ziele der Produktion dargestellt und der Begriff der Zeitvarianz in diesem Zusammenhang erklärt. Die eigentlichen Forschungsschwerpunkte werden anhand folgender Fragestellungen systematisch ausgewertet und eingeordnet:

- Themenkreis
- Angewandte Methodik
- Organisationstyp der Fertigung

Mit Hilfe einer Tabelle werden die untersuchten Ansätze den Themenkreisen, der Methodik und dem Organisationstyp der Fertigung zugeordnet. Der Fokus der Untersuchung liegt auf Ansätzen, die eine mögliche Unterstützung zur Überführung eines Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand ermöglichen

3.2 Ziele der Produktion

Ein Charakteristikum von Industriebetrieben ist die Produktion von Sachgütern, deren Erstellung zahlreiche Entscheidungen im Hinblick auf Planung und Steuerung von Produktionssystemen erfordert.

PPS-Systeme zerlegen entsprechend eines Sukzessivplanungskonzeptes das komplexe Problem der Produktionsplanung in einzelne Teilprobleme, welche schrittweise gelöst werden (HEINEN 1991, SEITE 583). Die dabei im Bereich der Produktion verfolgten technisch-organisatorischen Ziele (GLASER 1991, SEITE 305F; RÖTZEL 1991, SEITE 106F; SIMON 1995, SEITE 18FF; BLUMBERG 1991, SEITE 92F; WEINBRECHT 1993, SEITE 54 F, WIENDAHL 1996) sind die

- Maximierung der Auslastung, die
- Minimierung der Bestände, die
- Minimierung der Durchlaufzeit und die
- Minimierung von Terminabweichungen.

Die einzelnen Ziele lassen sich zwei Gruppen zuordnen (vgl. Abbildung 4), nämlich den sog. Betriebs- und Marktzielen, wobei die ersten beiden genannten Kriterien sich nicht direkt auf die Kundenzufriedenheit auswirken, die beiden letzteren jedoch direkt marktorientiert sind.

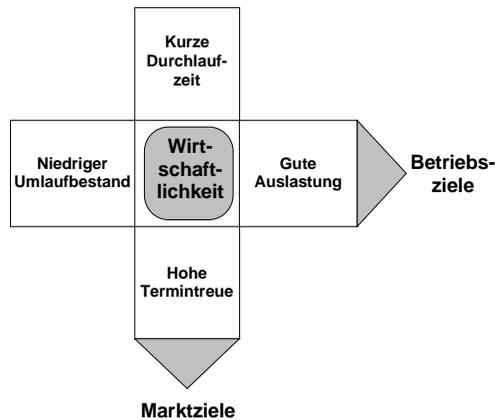


Abbildung 4: Dimensionen der logistischen Zielgrößen (Wiendahl 1997)

Problematischer gestaltet sich die Erreichung dieser Ziele insofern, als daß sich diese teilweise widersprechen, d.h. daß ein gleichzeitiges Optimum aller Größen nicht zu erzielen ist. In Konsequenz bedeutet dies: Jedes Unternehmen muß eine sehr individuelle Kombination der Zielkriterien in Abhängigkeit zu den jeweiligen Rahmenbedingungen (Größe des Unternehmens, Art des Produktionsprogramms, Organisationsform der Produktion usw.) festlegen. Diese Kombination wird als *Zielfunktion* bezeichnet. Im Zuge dieser Arbeit ist diese Zielfunktion um eine weitere Dimension zu erweitern. Diese zusätzliche Dimension ergibt sich aus der *Zeitvarianz* von Produktionssystemen. Bei der Bestimmung der neuen Zielfunktion muß zusätzlich der Einfluß von zeitvarianten Produktionsstrukturen und Strategien berücksichtigt werden. Bei der Überführung des Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand z.B. bei der Überführung einer Werkstattfertigung in eine Inselfertigung bei laufendem Betrieb, sind die primären logistischen Zielgrößen beizubehalten unter den zusätzlichen Restriktionen der sich ständig ändernden Anordnungsstrukturen und Steuerungsstrategien.

Eine genauere Beschreibung, wie die einzelnen Kriterien operationalisiert werden können und welche Ansätze zur Bildung einer Zielfunktion existieren, erfolgt bei der Aufarbeitung des Standes der Technik.

3.3 Abgrenzung der Forschungsschwerpunkte

Die für die Problemstellung der simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme untersuchten Arbeiten sind in den unterschiedlichsten Bereichen der PPS-Problematik angesiedelt. Dabei sind Ansätze zu finden, die sich entweder mit der Produktionsplanung oder der Produktionssteuerung auseinandersetzen. Zum Teil werden

lediglich Teilaspekte der Produktionsplanung herausgegriffen und in einer von der Gesamtproblematik isolierten Betrachtungsweise zu optimieren versucht. Abbildung 5 zeigt die Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten.

Allgemein läßt sich eine Gliederung in die Untersuchungsbereiche

- Erweiterung der konventionellen Produktionsplanung und –steuerung,
- Produktionsregelung,
- Störungsmanagement,
- Produktionsleittechnik und
- Logistik–Controlling

vornehmen (vgl. Abbildung 5: linker Bereich).

Entsprechend der Untersuchungsbereiche werden unterschiedliche Methoden für die Umsetzung der Konzepte herangezogen. Die neueren Arbeiten sind dabei nicht mehr eindeutig einer einzelnen Methode zuzuordnen, sondern bedienen sich häufig mehrerer Ansätze. Je weiter die Ansprüche hinsichtlich einer umfassenden Behandlung aller im Bereich der PPS anzutreffenden Tätigkeiten und Aufgabenkomplexe gesteckt sind, um so häufiger werden mehrere unterschiedliche Verfahren eingesetzt. Im wesentlichen lassen sich hier folgende Ansätze unterscheiden (vgl. Abbildung 5: rechter Bereich)

- Simulationstechnik,
- Künstliche Intelligenz (KI),
- Kennzahlensysteme,
- Kybernetik.

Bei der Darstellung der Untersuchungsbereiche und Methoden wird jeweils zu Beginn des Abschnittes die Motivation dargestellt, welche sich aus dem Untersuchungsbereich bzw. aus den Methoden ergibt. Die Bewertung der einzelnen Ansätze erfolgt direkt nach der Beschreibung des Ansatzes. Am Ende des Standes der Technik wird eine Zusammenfassung dargestellt, welche die relevanten Erkenntnisse abschließend beschreibt.

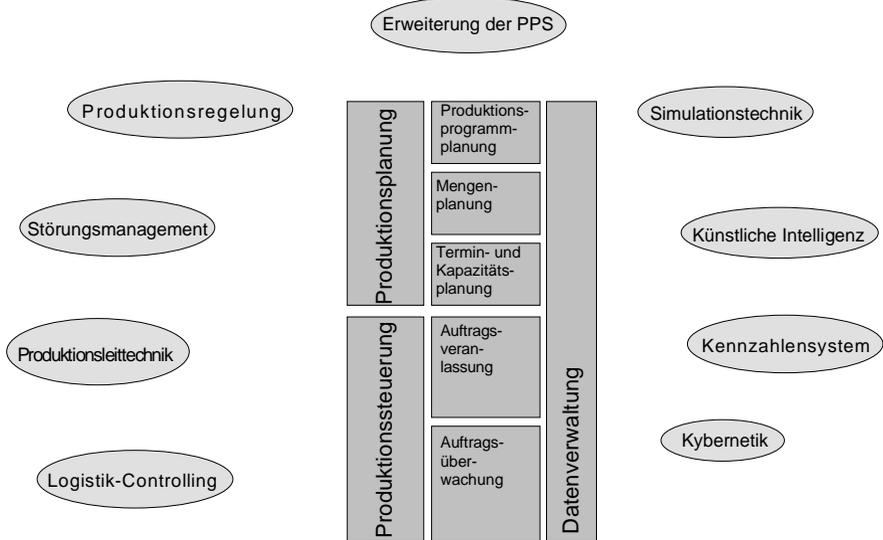


Abbildung 5: Forschungsschwerpunkte und eingesetzte Methoden

Im folgenden wird für die untersuchten Arbeiten eine Zuordnung von Forschungsbereichen und den verwendeten Methoden vorgenommen (siehe dazu auch Tabelle 1). Im Anschluß an die Analyse der Themenkreise erfolgt eine Aufschlüsselung nach der jeweils verwendeten Methodik. Betrachtet werden die Ansätze jeweils nach dem Organisationstyp der Fertigung, da sich hieraus unterschiedliche Anforderungen an die Gestaltung der simulationsbasierten Regelung für zeitvariante Produktionssysteme ergeben.

Da einige Autoren in ihren Arbeiten sowohl unterschiedliche Themenkreise bearbeiten als auch verschiedene Methodiken benutzen, würde es den Rahmen dieser Arbeit sprengen, jeden behandelten Bereich eines Autors zu beschreiben. Zur Vollständigkeit wurden zwar sämtliche Themenbereiche und Methodiken in Tabelle 2 angegeben, jedoch bei der Darstellung des Standes der Technik nur die Themenkreise bzw. Methodiken besprochen, welche einen direkten Bezug zur Problemstellung aufzeigen. So werden beispielsweise bei Wildemann die Arbeiten zum Störungsmanagement diskutiert, jedoch der Themenkreis Erweiterung der PPS anhand der Arbeiten von Büdenbender, Huber etc. beschrieben.

Autoren		Untersuchungsbereiche																						
		Bamberger	Bieri	Blumberg	Büdenbender	Burger	Cordes	Graf	Groth	Günzel	Huber	Lehmann	Martin	Nittka	Nyhuis	Petermann	Simon	Steinmann	Syska	Wedemeyer	Weinbrecht	Wrendahl	Wildermann	Zeitmayer
Themenkreis	Erweiterung der PPS			●	●			●			●							●					●	
	Produktionsregelung	●				●			●		●	●	●	●	●	●			●	●	●		●	
	Störungsmanagement	●								●	●		●				●			●		●		
	Produktionsleittechnik	●																						
	Logistik-Controlling		●				●		●						●				●					
Methodik	Simulation				●		●		●	●		●	●		●	●		●	●					●
	KI			●	●					●							●			●				
	Kybernetik		●																					
	Kennzahlensysteme		●		●	●		●																
	EDV-gestützte Ansätze	●									●										●			
Organisationstyp der Fertigung	Werkstatt - F.	●		●			●			●	●		●	●		●	●		●	●	●	●		●
	Fließ - Fert.			●	●				●	●														

Tabelle 1: Zuordnung von Autoren zu Themenkreisen und Untersuchungsbereichen

Entsprechend der oben vorgenommenen Systematisierung der methodischen Vorgehensweisen werden die Besonderheiten und Kernpunkte der Arbeiten der verschiedenen Autoren in den nächsten Abschnitten gewürdigt. Die Ergebnisse dieser Zusammenfassung erleichtern die Beurteilung der vorgestellten Ansätze hinsichtlich ihrer Eignung als Lösung für die zu beschreibende Problematik zur Regelung zeitvarianter Produktionssysteme.

3.4 Themenkreise bestehender Ansätze

3.4.1 Erweiterungen der konventionellen PPS

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Konzepte beinhalten keine grundlegenden Änderungen der Vorgehensweise und Abläufe im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung, vielmehr werden neue Ansätze zur Lösung bekannter Aufgaben und Probleme dargestellt. Wertvolle Hinweise für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme werden anhand der verschiedenen Unternehmenstypen in bezug auf das mögliche Änderungspotential abgeleitet.

BÜDENBENDER 1991 beschreibt als Grundmotivation für seinen Ansatz die eher heterogene Auftragsabwicklungsstruktur in der produzierenden Industrie, die dadurch gekennzeichnet ist, daß nur bei einer Minderheit von Unternehmen eine reine Auftragsorientierung (Einzel–Kleinserienfertigung) bzw. eine reine Lagerfertigung (Serienfertiger) vorzufinden ist und sich der Einsatz konventioneller PPS–Systeme bei solchen Mischfertigern damit zwangsläufig ineffizient gestaltet. BÜDENBENDER strebt die Entwicklung einer "ganzheitlichen" Lösung dieses Problems an, wobei er auf eine bloße Kopplung verschiederer PPS–Systeme verzichtet.

Erarbeitet werden Anforderungen und Gestaltungsvorschläge zur Konzeption eines solchen ganzheitlichen Systems. BÜDENBENDER nimmt dazu zunächst eine funktionale Abgrenzung des Untersuchungsbereiches vor, wählt Merkmale und deren Ausprägungen zur Beschreibung inhomogener Auftragsabwicklungsstrukturen aus und leitet daraus empirisch gestützte, repräsentative inhomogene Auftragsabwicklungstypen ab. Im Anschluß erfolgt eine Ableitung typspezifischer Anforderungen an die PPS, die dann im Zuge entsprechender Gestaltungsvorschläge zur Konzeption der PPS konkretisiert werden.

Ein Großteil der Arbeit bezieht sich auf eine Bestimmung von Merkmalen und Ausprägungen zur Beschreibung von allgemeinen Auftragsabwicklungsstrukturen. Die identifizierten Merkmale sind sog. Initialmerkmale (Auftragsauflösungsart), Erzeugnismerkmale (Erzeugnisspektrum und –struktur), Dispositionsmerkmale (Erzeugnis– und Komponentenbedarf, Auflösung des Sekundärbedarfs, Beschaffungsart und Bevorratung) und Fertigungsprozessmerkmale (Fertigungsart, Ablaufart in Teilefertigung bzw. –montage, Fertigungsstruktur und Kundenänderungseinflüsse).

Die vier daraus abgeleiteten repräsentativen Auftragsabwicklungstypen (BÜDENBENDER 1991, SEITE 59FF) sind entsprechend Typ 1 kleinere Unternehmen, welche typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten auf Basis standardisierter Baugruppen herstellen. Die starke Kundenorientierung dieses Typs macht eine häufige auftragsbezogene Änderungen während der Konstruktionsphase und des Fertigungsdurchlaufes notwendig. Mengenmäßig wird Typ 1 der Einzel– und Kleinserienfertigung zugeordnet. Typ 2 sind Unternehmen mittlerer Größe zugeordnet, welche typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten herstellen. Der höheren Stückzahlen wegen wird neben der Werkstattfertigung auch die Insselfertigung eingesetzt. Nach Typ 3 werden in Unter-

nehmen mittlerer Größe typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten und Standarderzeugnisse mit Varianten gefertigt. Die Notwendigkeit von Änderung ergibt sich hier erst auf relativ hoch gelegenen Strukturstufen. Die Organisation der Fertigung hat ausgeprägten Seriencharakter. Der letzte Typ 4 beschreibt größere Unternehmen im Bereich der Serienfertigung einfach strukturierter Standarderzeugnisse in verschiedenen einfachen Varianten. Ein kundenabhängiger Änderungsbedarf ist kaum zu verzeichnen. Wesentliches Charakteristikum scheint die auf den starken Wettbewerb zurückgehende Notwendigkeit von kurzen Lieferzeiten zu sein.

Für jeden dieser Typen werden für die Bereiche Produktionsprogrammplanung, Mengenplanung, Termin- und Kapazitätsplanung, Auftragsveranlassung und -überwachung sowie Grunddatenverwaltung typspezifische Gestaltungsvorschläge zur Konzeption einer "ganzheitlichen" PPS unterbreitet. Die dabei herangezogenen Leitlinien sind die Berücksichtigung der Variantenvielfalt, eine Planung auf Komponentenebene (Vorratsfertigung), die Realisierung kurzer Lieferzeiten, die bewußte und intensive Einbeziehung der Montagetätigkeiten in den PPS-Prozeß, die Erzielung einer hohen Transparenz hinsichtlich des Fertigungs- und Montagegeschehens und eine weitgehende automatische Unterstützung einzelner Auftragsabwicklungsaktivitäten.

BÜDENBENDER beschränkt sich bei seinen Empfehlungen für einen kleinen Ausschnitt von Unternehmenstypen auf die Gestaltung der Informationsflüsse innerhalb der PPS sowie die Festlegung der Bevorratungsebene und geht damit nur einen ersten Schritt in Richtung der Konzeption einer "ganzheitlichen" PPS. Anregungen für die vorliegende Arbeit liefert der Autor in erster Linie durch die Beschreibungsmerkmale und Ausprägungen als Typisierungsgrundlage für Unternehmen. Die Beschreibung von Anforderungen an die PPS ist für die behandelten Unternehmenstypen bereits so umfassend, daß sie erst im Rahmen einer späteren Konkretisierung des hier vorgestellten Grobkonzeptes hilfreich sein kann.

HUBER 1990 beschreibt die rechnerintegrierte Produktion als Ausgangspunkt für eine Synthese diverser Modelle im Rahmen der Entwicklung eines CIM-Referenzmodells (Modellkomponente). Dieses soll die Schwächen bestehender Planungssysteme und Steuerungsstrategien durch die Integration von Planung, Steuerung und Überwachung überwinden.

HUBER weist die prinzipielle Anwendbarkeit dieser Modellkomponente im Rahmen einer Fallstudie nach und implementiert eine Überwachungs- und Diagnosekomponente zur Identifikation von Planabweichungen und kritischen Fertigungssituationen. Diese gibt Rahmenbedingungen für eine wissensbasierte Planung vor. Die Anwendung der drei Komponenten wird abschließend anhand einer Auftragsreihenfolgeplanung gezeigt.

Die Modellkomponente beinhaltet Konzepte zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens eines Fertigungssystems. Mit Hilfe einer Simulation des realen Systems werden charakteristische Betriebspunkte einer Montagelinie in Abhängigkeit vom Produktmix, der Puffergrößen und etwaiger Störungen untersucht. Die so gewonnenen Ergebnisse dienen der Adaption von Parametern der Fertigungslinie und als Heuristiken für das Planungsmodul (Wissenserwerb). Die Überwachungskomponente überprüft den Bestand und dient der Störungserkennung bzw. -diagnose. Die Anwendbarkeit für die si-

mulationsbasierte Regelung zeitvarianter Produktionssysteme ergibt sich aus dem Einsatz der Simulation für die Bestimmung charakteristischer Betriebszustände. Diese Betrachtung ist jedoch um die Dimension der Struktur- und Strategieänderung zu erweitern.

BLUMBERG 1991 stellt eine Untersuchung zur Ableitung von Gestaltungshinweisen für wissensbasierte Systeme zum Einsatz im Rahmen der PPS und der Integration innerhalb eines CIM-Konzeptes vor. Ausgehend von den Defiziten bestehender konventioneller, aber auch wissensbasierter Systeme und den spezifischen Anforderungen für den Einsatz im PPS-Umfeld werden Architektur-, Entwicklungs- und Integrationsaspekte behandelt. Vorgestellt werden 3 Modelle wissensbasierter Systeme: ein Architekturmodell (zur Berücksichtigung von stand-alone und eingebetteten Systemen), ein Entwicklungsmodell (zur Berücksichtigung des Problems der Auswahl von Entwicklungswerkzeugen) und ein Integrationsmodell (zur Integration in eine Info-Verarbeitungsumgebung, in CIM-Prozessketten und in das organisatorische Umfeld).

Die Implementation erfolgt am Beispiel einer Lieferantenbewertung und beschränkt sich damit auf einen relativ engen Ausschnitt möglicher Anwendungsfälle im Umfeld der PPS. Trotz dieser Einschränkung sind die Ausführungen zur grundlegenden Architektur und anderen Entwicklungsaspekten allgemeingültiger Natur und damit als Grundsatzstudie für mögliche Einsatzbereiche wissensbasierter Systeme nennenswert. Für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme wird der Ansatz der wissensbasierten Systeme zur Identifikation von Umplanungsmaßnahmen in Abschnitt 3.5.2 näher beschrieben.

STEINMANN 1992 versucht in seiner Arbeit ein abgegrenztes, aber dennoch realitätsnahes Tätigkeitsspektrum eines fiktiven, hoch qualifizierten Sachbearbeiters in der PPS zu strukturieren und für die Abbildung in einem Expertensystem zu beschreiben. Der zunächst sehr breite Entwicklungsansatz wird sukzessive durch eine Beschränkung auf ausgewählte Planungs- und Steuerungsaufgaben reduziert. Demnach wird kein theoretisches Modell zur lückenlosen Beschreibung aller Zusammenhänge erarbeitet, sondern ein abgegrenzter Ausschnitt des Gesamtsystems betrachtet, insbesondere die Bereiche Arbeitsplanung, Kapazitätsterminierung und -abgleich, Auftragsfreigabe und Fertigungssteuerung. Die zwei entwickelten Prototypen decken damit die Bereiche Termin- und Fertigungssteuerung sowie die Anwendung innerhalb eines Fertigungsleitstandes ab. Beispiele für die Umsetzung der Wissenselemente in die Wissensrepräsentationsformen der verwendeten shells zeigen die grundsätzliche Realisierbarkeit von Aufgabenstellungen in der PPS. Die erarbeitete Systematik zur Entwicklung von Expertensystemen ermöglicht eine einfache, unternehmensspezifische Anpassung.

Neben dem eigentlichen Fachwissen unterscheidet die Wissensbasis verschiedene Wissensgebiete eines Experten, nämlich ein Strategie-, Steuerungs- und Meta-Wissen. Die Auswahl und Anwendung der Wissensbereiche bzw. -elemente wird in Abhängigkeit von der jeweiligen Problemstellung gesteuert.

Kritisch zu beurteilen ist die für eine Bedienung erforderliche Expertise des Anwenders; "ausgefeilte" Methoden sind nur durch Erweiterungen der eingesetzten shell auf Pro-

grammiersprachenebene möglich. Die ursprünglich angestrebte Abbildung von Wissen zur Entscheidungsunterstützung über alle Planungsstufen hinweg wurde – wie bereits erwähnt – aufgegeben.

3.4.2 Ansätze zur Produktionsregelung

Der Grundgedanke hinter diesem Vorgehen ist eine automatische und kontinuierliche Informationsrückkopplung aus der laufenden Produktion, um auf diesem Wege eine flexible Produktionsregelung mit einer geringeren Störungsempfindlichkeit zu realisieren [BURGER 1992]. Gerade die Unkenntnis hinsichtlich möglicher Störgrößen der Regelstrecke und ihres zeitlichen Verhaltens ist eine wesentliche Motivation für die Implementierung von Regelungsansätzen [WEINBRECHT 1993, SEITE 72].

Gerade die Überführung eines Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand erfordert eine effektive Überwachung des Übergangsprozesses. Bei der Umsetzung eines Maßnahmenkataloges, z.B. beim Ersatz einer Engpaßmaschine, sind einige Meilensteine abuarbeiten. Zur effizienten Umsetzung der einzelnen Maßnahmen ist eine Informationsrückkopplung (Regelung) notwendig. Deshalb werden im folgenden Abschnitt bestehende Regelungsansätze aus dem Produktionsbereich analysiert. Die Mehrheit der Arbeiten hat nur Teilbereiche der Produktionsregelung betrachtet. Insbesondere Aspekte wie

- flexible Planung,
- situationsangepaßte Steuerung,
- Überwachung / Kontrolle,
- Analysen und statistische Auswertung sowie
- intelligentes Entstörmanagement

bilden die Schwerpunkte der Untersuchungen. Dabei sind die Ansätze größtenteils auf ein bestimmtes Fertigungssteuerungs- bzw. Auftragsfreigabeverfahren oder spezielle Produktionsstrukturen spezialisiert. Eine Übernahme von Teillösungen erfordert daher eine Erweiterung zu einem ganzheitlichen, übertragbaren Ansatz, was aufgrund der zum Teil sehr spezifisch gewählten Rahmenbedingungen bzw. Prämissen kaum praktikabel erscheint. Die Erkenntnisse in diesen Bereichen sind somit nur bedingt auf die vorliegende Problematik der simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme übertragbar, wohl aber bei der Abbildung spezifischer Verfahren durch Modulbausteine eines Simulationssystems hilfreich.

BURGER 1992 stellt einen Beitrag zur Entwicklung von flexiblen, im Rechnernetz verteilten Produktionsplanungs- und Fertigungsleitsystemen vor, welche eine kurzfristige Entscheidungsunterstützung während der Auftragsabwicklung ermöglichen sollen. Die dabei verfolgten Ziele sind die Optimierung des Auftragsdurchlaufes, die Verbesserung der Produktionssteuerung, eine Erhöhung der Transparenz der Prozesse sowie die Implementierung schneller Regelkreise.

Charakteristikum dieses Ansatzes ist der Aufbau eines Regelkreises als dezentral organisiertes, vernetztes System mit unterschiedlichen hierarchischen Ebenen (kaskadierter

Regler vgl. Abbildung 6). Auf der obersten Ebene, der sog. Produktionsleitebene, wird das Gesamtoptimum im Sinne der vorgegebenen Zielfunktion und die Koordination aller betrieblichen Teilbereiche verfolgt. In der sog. Bereichsleitebene (mittlere Ebene) werden die Vorgänge in einem Produktionsleitbereich abgestimmt (z.B. die Reihenfolgebildung, Störstrategie). Auf der untersten Ebene erfolgt die Regelung innerhalb einer einzelnen Zelle.

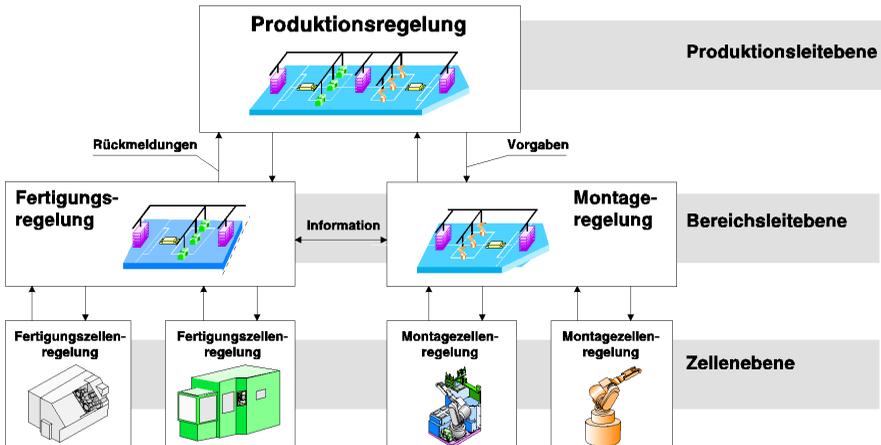


Abbildung 6: Produktionsregelung als hierarchischer Aufgabenkomplex (nach Burger 92)

Die Betriebsdatenerfassung (BDE) erhebt ereignisorientierte Daten aus dem laufenden Prozeß, verarbeitet und verdichtet diese, führt eine Situationsanalyse auf Basis der gewonnenen Daten durch, um dann bei Soll-/Ist -Abweichungen geeignete Maßnahmen auswählen zu können. Dies geschieht durch eine simulative Bewertung der verschiedenen Maßnahmen. In einem iterativen Vorgang werden einzelne Maßnahmen entsprechend der Simulationsergebnisse ausgewählt bzw. verworfen. Durchgesetzt wird der am meisten Erfolg versprechende Maßnahmenkatalog.

Die Komponenten des Reglers sind eine Datenbasis, ein Statistikmonitor (für Zeiten, Mengen, Kennzahlen), ein Anlagenmonitor (Anlagenzustand, Materialbestände, Auslastung), ein Auftragsmonitor (Auftragsinformationen, -fortschritt, Termsituation), die Regelung (Soll-/Ist-Vergleich, Maßnahmenkatalog, Wissensbasis) und ein Simulationskern (Ereignisse, Störungen, Modell). Der Simulationskern dient in erster Linie der Verbesserung der Entscheidungskompetenz durch eine Erhöhung der Transparenz trotz dynamischer Prozesse. Die Prozeßkontrolle wird durch Kontrollsysteme für Auftragsfortschritt und Anlagenzustand und einer entsprechenden Visualisierung erreicht. Zusätzlich im-

plementiert BURGER ein Expertensystem, welches im Falle von Störungen Vorschläge für Reaktionsmaßnahmen unterbreitet.

Als wesentliche Erkenntnis für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme gibt der Ansatz von Burger die Auswahl von Maßnahmen durch die simulative Bewertung an. Der Ansatz von Burger liefert für den Aufbau der Reglerstruktur wertvolle Hinweise. Speziell die kaskadierte Regelung ist für die Gestaltung der Regelstruktur zeitvarianter Produktionssysteme geeignet. Desweiteren können wertvolle Ansatzpunkte für die Integration der Simulation zur Verbesserung der Entscheidungskompetenz abgeleitet werden. Der Einsatz von Expertensystemen ist kritisch zu betrachten und wird im Abschnitt 3.5.2 näher beschrieben.

Das von ZETLMAYER 1994 vorgestellte Konzept eines Verfahrensmodells sieht als entscheidende Aufgabe der Produktionsregelung die Kompensation von internen und externen Störungen an, wobei der Fokus auf eine kurzfristig orientierte Störungskompensation (Maschinenbelegungsregelung) gelegt wird (vgl. Abbildung 7). Unter internen Störungen werden Änderungen von Elementen des betrachteten Arbeitssystems (z.B. menschliche Arbeitsleistung, Betriebsmittel, Material, Disposition/Information), unter externer Verhaltensänderungen übergeordneter Systeme (z.B. Änderungswünsche, kurzfristiger Ersatzteilbedarf, Lieferantenverzögerungen usw.) verstanden.

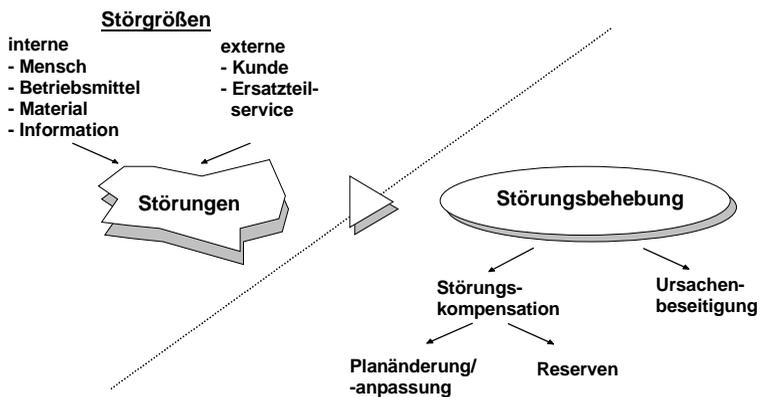


Abbildung 7: Störungen und Störungsbehebung (nach Zetlmayer 1994)

Das Problem der in den Regelstrecken enthaltenen Totzeiten (Übergangszeiten) wird in diesem Ansatz mit Hilfe einer prädiktiven Regelung, deren Kern eine Simulation des Produktionssystems bildet, behoben.

Die Simulation dient als Planungs- und Testwerkzeug zur Beurteilung von Umplanungs- und Optimierungsmaßnahmen. Solche Umplanungen können entweder die Pa-

rametrierung von Aufträgen und Arbeitsplätzen (Termine, Mengen, Arbeitsplätze im Arbeitsplan, Überstunden) oder die Änderung von Entscheidungsregeln (Reihenfolge, Maschinenauswahl) sein. Wie bereits bei BURGER erfolgt auch hier eine iterative Belegungsoptimierung, welche Varianten generiert, Lösungen mit Schwachstellen eliminiert und bis zum Erreichen eines Abbruchkriteriums die jeweils besten Lösungen für eine weitere Optimierung heranzieht.

Aus der Produktion werden der Stand aller Aufträge, der Zustand aller Arbeitsplätze (inkl. Störungen) sowie die Maschinenbelegungs- und Schichtpläne in das Simulationsmodell geladen. Der Auftragsdurchlauf wird dann in der Simulation für einen bestimmten Zeitraum unter Berücksichtigung real verfügbarer Kapazitäten vorausberechnet. Eine Auswerterechnung ermittelt Terminverzögerungen und weitere Produktionskenngrößen, wodurch sich Engpässe erkennen lassen. Anpassungs- oder Optimierungsverfahren hinsichtlich der Maschinenbelegung können im Rahmen der Simulation getestet werden ("Was-wäre-wenn"-Szenarien). Der beste Simulationslauf wird letztlich als Maschinenbelegungsplan für die laufende Produktion freigegeben. Im wesentlichen handelt es sich bei dem Ansatz nach ZETLMAYER um eine Erweiterung des Ansatzes von BURGER um eine vorausschauende Reaktion.

Die mit dem Regelungsansatz von SIMON 1995 verfolgten Ziele sind die optimierte Nutzung der Fertigung trotz konkurrierender Zielvorgaben und eine logistische Beherrschung des dynamischen Fertigungsprozesses trotz auftretender Störungen. Dazu werden unterschiedliche Ziele für den Bereich der Produktion und der Fertigung formuliert. Während die Produktionsregelung die Umsetzung der unternehmerischen Ziele in bereichsspezifische Handlungsanweisungen und die Gewährleistung der Zielerfüllung verfolgt, versucht die Fertigungsregelung die Umsetzung der in der Produktionsregelung ermittelten Zielvorgaben in lokale Handlungsanweisungen und eine Reaktion auf stochastische Störeinflüsse zu gewährleisten.

SIMON erweitert die bei ZETTMAYER zu findende prädiktive Regelung um eine adaptive Komponente, d.h. daß über eine laufende Erfassung sich ändernder Streckendaten und einer anschließenden Ermittlung geeigneter Regelparameter bzw. Reglerstrukturen der Regler je nach Umweltzustand kontinuierlich modifiziert werden kann. Diese Aufgabe übernimmt ein sogenannter adaptiver Zustandsbeobachter, der je nach Differenz zwischen Modellgrößen und den Ausgangsgrößen der Regelstrecke eine kontinuierliche Anpassung der Modellparameter vornimmt.

Die einzelnen Aufgabenblöcke der Fertigungsregelung sind ein Reihenfolgeregler (Ablaufplanung, ziel- und situationsangepaßte Belegungsplanung), die Arbeitsveranlassung (Transportsteuerung, Verfügbarkeitsprüfung, AVO-Freigabe), die Anlagen- und Auftragsüberwachung (Datenerfassung, -aufbereitung, -überwachung, Modelladaption) sowie ein Modul für das Störungsmanagement (Störungserkennung, -analyse, Maßnahmenbestimmung). Das wesentliche Differenzierungsmerkmal zu bisherigen Ansätzen ergibt sich durch den adaptiven Zustandsbeobachter. Da auch in Folge der Umsetzung von Maßnahmen der Migration laufend Parameter zu überwachen sind, wird dieser Ansatz für die Migrationsumsetzung näher betrachtet. In diesem Zusammenhang ergibt sich der Einsatz der Simulation sowohl planungsbegleitend (Bestimmung des besten

Migrationspfades) als auch betriebsbegleitend zur prädiktiven Regelung, d.h. die Voraussimulation des tatsächlichen Betriebsverhaltens des Produktionssystems.

WEINBRECHT 1993 beschränkt sich mit seinem Regelungsansatz auf den Organisationsstyp der Werkstattfertigung. Nach seinem Konzept ist die Werkstattregelung als Teil der betrieblichen PPS zu betrachten. Ziel des Ansatzes ist es, durch schnelle, transparente und situationsangepaßte Reaktionen, d.h. Umplanungen, auf zeitliche Soll-/Ist-Abweichungen eine Verringerung der Zielabweichung in der Fertigung zu erzielen. Die dabei vorgesehenen Alternativen zur Umplanung sind Splitten, Überlappen, Vertauschen und Vorziehen. WEINBRECHT entwickelt dazu eine rechnergestützte Komponente als neuen Funktionsbaustein eines konventionellen Werkstattregelungssystems, die eine schritthaltende ereignisorientierte Regelung ermöglicht. Interessant ist die Verbindung von Wissensbasierung und Fuzzy-Logik, welche die Möglichkeit einer Bewertung diverser Umplanungsaktionen hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Wert der Zielfunktion eröffnet, ohne eine – nach Aussage von WEINBRECHT vergleichsweise zeitintensive – Simulation vornehmen zu müssen. Die Zielfunktion berücksichtigt sowohl zeitliche Kriterien wie Terminabweichungen, Durchlaufzeiten, Auslastungen (die ja den zeitlichen Auftragsbedarf einer Periode enthalten), als auch Kostenkriterien. Dazu werden neben der monetären Quantifizierung der aufgezählten logistischen Zeitziele auch Bestands- und Herstellkosten berücksichtigt. Die Optimierung unter mehrfacher Zielsetzung wird mit Hilfe der Rangfolgemethode und einer Ersatzzielfunktion vorgenommen. Das System dient der Entscheidungsunterstützung für den Planer durch Methoden der Visualisierung und einer schrittweisen Optimierung des Belegungsplanes und ist damit auf einen sehr engen Anwendungsbereich beschränkt.

Für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme ist die von WEINBRECHT erwähnte Zielfunktion durch Sollwerte der geplanten Fertigungsstruktur und Steuerungsstrategie zu erweitern. Im Gegensatz zu WEINBRECHT wird zu Bestimmung der besten Übergangsstrategie die Anwendung der Ablaufsimulation favorisiert.

BAMBERGER 1996 konzeptioniert ein System mit hoher Anpaßbarkeit und Flexibilität zur Behebung von Störungen für den Einsatz in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Zentrales Objekt ist dabei der Produktionsplaner, der in die Lage versetzt werden soll, individuelle Verfahren zur schnellen und an die Ziele angepaßten Reaktion in Abhängigkeit der aufgetretenen Störung, Werkstattssituation und seiner eigenen Erfahrung zu generieren. Die angegebenen Abhängigkeiten können Abbildung 8 entnommen werden.

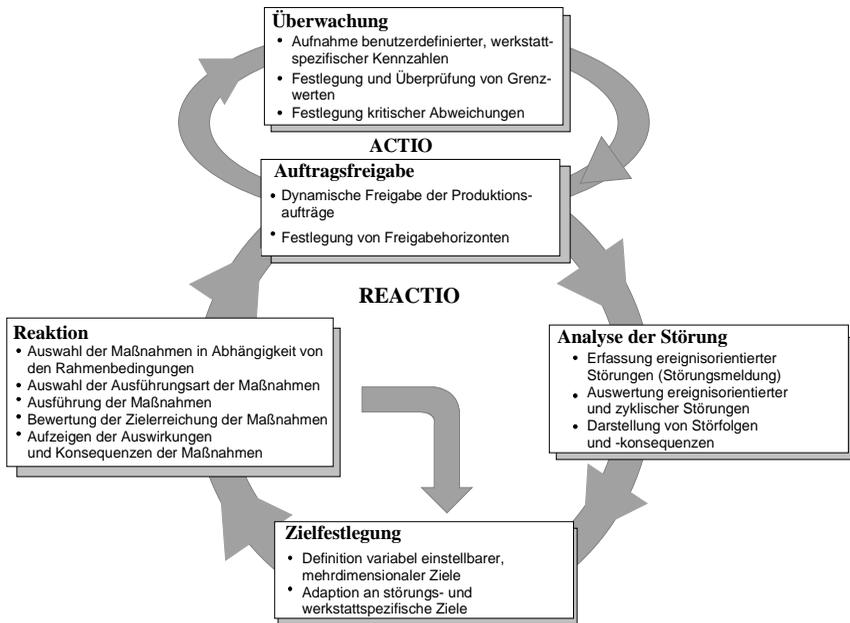


Abbildung 8: Regelkreisprinzip der Tätigkeiten beim Störungsmanagement (nach Bamberger 1996)

Das Hauptaugenmerk wird auf die Unterstützung des Benutzers bei seinem Entscheidungsfindungsprozeß hinsichtlich der Auswahl adäquater Maßnahmen bei gleichzeitiger Berücksichtigung der logistischen Zielgrößen gelegt. Die Aufgaben des Systems sind demnach eine übersichtliche Abbildung der komplexen Fertigungsstrukturen, die Gewährleistung der Transparenz der Lösungsfindung und eine freie Konfigurierbarkeit der zu konzipierenden Vorgehensweisen. Diese Forderungen werden als Voraussetzung für die Möglichkeit einer Änderung des Produktionsablaufes bzw. der Fertigungsziele angesehen. Etwaige Reaktionsmaßnahmen sollen bewußt keinen optimalen Belegungsplan unter Einhaltung der vorgegebenen Ziele liefern, sondern einen Plan nahe eines Optimums generieren, welcher in kürzester Zeit realisierbar ist. Die Hauptzielkriterien der Arbeit sind eine hochgradige Anpaßbarkeit des Systems an unterschiedliche Planungsphilosophien, Fertigungsstrukturen und Störungen durch modularen Aufbau, die Bereitstellung flexibler/effizienter Reaktionsmaßnahmen (Auswahl- bzw. Konfigurationsmöglichkeit des Benutzers) sowie die Abbildung der Vorgehensweise und Umsetzung der Ursache- Wirkungsbeziehungen in einem regelnden Kreislauf. Interessant für Regelung zeitvarianter Produktionssysteme ist das vorgestellte Regelkreisprinzip des Störungsmanagement. Diese Vorgehensweise bildet auch die Basis für die in Kapitel 6 entwick-

kelte Planungsmethode. Die Planungsmethode wird dabei in drei Phasen aufgeteilt, nämlich in die Analyse-, Beschreibungs- und Umplanungsphase.

GÜNZEL 1993 untersucht Möglichkeiten für einen komplementären Einsatz von Simulationsverfahren und Verfahren der PPS im Fertigungsbereich einer Großserien- bzw. Linienfertigung. Probleme der konventionellen PPS, aber auch die mangelhafte Integration der Simulationstechnik in einen übergeordneten Verfahrensverbund sollen mit Hilfe der entwickelten "PPS-Simulation" beseitigt werden. GÜNZEL versteht darunter sowohl die Abbildung von Vorgängen innerhalb des PPS-Systems als auch die Berücksichtigung und Abbildung realer Vorgänge im Durchführungssystem. Das vorgestellte Modell einer Großserienfertigung sieht die Elemente "Menge aller Einzelaufgaben", "Menge aller Kapazitätseinheiten", "Menge aller Lagerressourcen" und die "Menge aller Materialflußbeziehungen" zur Beschreibung des Produktionssystems vor. Darüber hinaus werden Zuordnungen von Einzelaufgaben zu primären Kapazitätseinheiten und Lagerressourcen vorgenommen, um festlegen zu können, welche der auszuführenden Einzelaufgaben auf welchen Kapazitätseinheiten durchzuführen sind. Damit lassen sich alle in der PPS auftretenden Koordinationsprobleme unabhängig von der zugrundeliegenden Organisationsstruktur vollständig beschreiben. Zur Abbildung der Fertigungserzeugnisse und der darin enthaltenen Objekte wird ein Erzeugnisstrukturgraph (Gozinto-Graph) verwendet. Unterschiedliche Dispositions- und Materialflußstrukturen werden ebenfalls berücksichtigt. Eine erste Anwendung erfährt das Konzept im Rahmen einer strategischen Fabrikplanung und verschiedenen Fallstudien zur strategischen PPS-Simulation. Aufgrund des ähnlichen Abstraktionsgrades bietet dieser Ansatz wertvolle Informationen zum Einsatz der Simulation als Planungs- und Bewertungsinstrument für die Überführung des Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand. Da bei dieser Anwendung der Simulationseinsatz im Mittelpunkt steht wird der Einsatz der Simulation in Abschnitt 3.5.1 näher beschrieben.

NITTKA 1996 beschreibt ein Auftragsfreigabeverfahren zur Koordinierung teilautonomer dezentraler Produktionsbereiche in der kundenauftragsorientierten Fertigung. Zur Lösung des Koordinierungsproblems wurde die Idee der Bestandsregelung aufgegriffen und für die Belange der Kopplung von teilautonomen Subsystemen zielgerichtet weiterentwickelt. Bei der Umsetzung wurden im wesentlichen zwei Regelkreise beschrieben: Ein Regelkreis soll den Bestand für einen Fertigungsbereich konstant halten, ein zweiter Regelkreis soll sicherstellen, daß alle Fertigungsbereiche möglichst gleichmäßig mit Aufträgen versorgt werden. Damit im Fall einer auftretenden Störung so schnell wie möglich die richtigen Stellparameter gefunden werden können, wurde das Freigabeverfahren in eine Simulationsumgebung implementiert. Mit Hilfe dieser Simulationsumgebung werden dem Disponenten Möglichkeiten zur Alternativengenerierung in frühen Phasen bereitgestellt. Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß der Ansatz von Nittka vom strukturellen Aufbau wertvolle Informationen für die Generierung von Maßnahmen enthält. Durch das Zusammenwirken von Regler und Simulation ist es möglich, dem Planer eine Experimentierumgebung zur Verfügung zu stellen, in welcher er verschiedene Szenarien zur Problemlösung ohne zusätzlichem Aufwand testen kann.

PETERMANN 1996, WIENDAHL 1995 UND NYHUIS 1994 stellen ein kontinuierliches Modell des Produktionsprozesses vor, das auf dem Trichtermodell (*Wiendahl 1989*), dem Durchlaufdiagramm und der Betriebskennlinie aufbaut. Basierend auf der kontinuierlichen Beschreibung wird die Anwendung der klassischen Regelungstechnik (SCHMIDT 1987) zur Realisierung eines Bestandsreglers ermöglicht. Der Reglerentwurf soll die termingerechte Ablieferung der Arbeit innerhalb kalkulierbarer Durchlaufzeiten gewährleisten. Die Umsetzung der Regler erfolgt durch bekannte, modellkonforme Module der Mengenplanung, der Durchlaufterminierung, sowie durch Querschnittsfunktionen, die die Konsistenz aller verwendeten Parameter sicherstellen. Der Bestandsregler wird zur Vermeidung von Produktionsrückständen durch einen ebenfalls analogen Kapazitätsregler ergänzt (vgl. Abbildung 9). Die Modellevaluation gibt die Gültigkeitsgrenzen der Modellierung des diskreten Produktionsprozesses in einem kontinuierlichen Modell an. Durch die mathematische Beschreibung der Regelstrecke werden Gleichungen angegeben, die eine Berechnung des Zeitverhaltens möglich machen. Dabei wird auf die Theorie der Regelungstechnik zurückgegriffen. Durch entsprechende Transformationen vom Zeit- in den Frequenzbereich und umgekehrt kann das dynamische Verhalten leicht beschrieben werden. Mit Hilfe dieser Methodik wurde eine Auswahl der Regler und eine Ableitung von Einstellvorschriften vorgenommen. Durch die Komplexität und die große Anzahl von Zuständen von Produktionssystemen stößt die kontinuierliche Regelung von zeitvarianten Produktionssystemen aufgrund fehlender Beschreibungsmethodiken und begrenzter Rechnerleistungen an die Machbarkeitsgrenze.

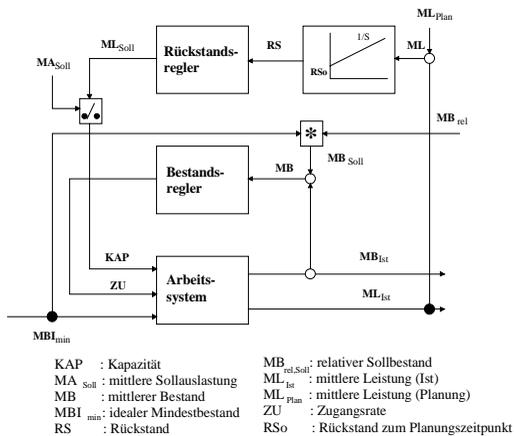


Abbildung 9: Konzeption einer kombinierten Bestands- und Rückstandsregelung (nach Petermann 1996)

Der Ansatz von MARTIN 1998 baut auf den von BURGER 1992 und ZETLMAYER 1994 vorgestellten Verfahrens- und Systemansatz auf. Im Mittelpunkt der Arbeit steht die Untersuchung folgender Fragen:

- Wie müssen Verfahren und leittechnische Systeme zur Produktionsregelung strukturiert und gestaltet werden, um auch Anforderungen gerecht zu werden, die sich aus mehrstufigen und heterogenen Produktionsstrukturen ergeben?
- Wie weit lassen sich Produktionsregelungen automatisieren und die komplexen Regelungsstrategien in rechnergestützten Verfahren abbilden?

Es wird ein baukastenartiger Aufbau des Regelsystems dargestellt, welches das Rahmengerüst bildet. Die Bausteine des Produktionsregelungsbaukastens ergeben sich wie folgt: Der *Konfiguratorbaustein* dient dazu, ein auf eine Regelungsproblematik zugeschnittenes Regelsystem aus dem Baukasten zu konfigurieren. Die Simulationstechnik findet Verwendung als Referenzmodell, zur Belegungsplanerstellung und zum Test von Regelungsmaßnahmen. Das *Monitoring- und Entscheidungsmodul* überwacht die Einhaltung der erstellten Produktionspläne und der logistischen Zielgrößen. Es sorgt für den Abgleich mit den vor-/nachgelagerten Produktionsbereichen und trifft die Entscheidung darüber, ob ein Regelungsverfahren eingeleitet werden muß.

Die dabei identifizierten Optimierungsmaßnahmen lassen sich in verschiedene Klassen einteilen. Es handelt sich um Maßnahmen zur Änderung des globalen Regelansatzes, von lokalen Regelsätzen, von regelsysteminternen Prioritäten sowie um Kapazitäten. Zur automatischen Auswahl und Durchführung von allgemeinen Optimierungsschritten wird ein regelbasiertes Expertensystem adaptiert. Die Optimierungsvorschrift ist aus den Bestandteilen Kennung, Beschreibung, Fakten-Muster sowie Teilbaum aufgebaut.

Ziel der integrierten Fertigungsregelung ist die Kompensation von internen und externen Störeinflüssen und Störungen im kurzfristigen Bereich. Mit dieser Zielsetzung wird die Ebene der Maschinenbelegung im Umfeld der Produktionsplanung und -steuerung festgelegt, so daß auch von einer "Maschinenbelegungsregelung" gesprochen werden kann. Die Aufträge mit ihrem jeweiligen Arbeitsinhalt bilden die über die Zeit veränderlich Systemlast. Das eigentliche Regeln besteht darin, den Stand und die Entwicklung der Auftragsabwicklung zu erfassen, auszuwerten und gegebenenfalls durch entsprechende Maßnahmen in der Maschinenbelegung korrigierend einzugreifen.

Der Ansatz von MARTIN geht von einer unveränderlichen Kapazitätssituation im Fertigungsbereich aus. Die dargestellten Maßnahmen beziehen sich auf eine optimale Maschinenbelegung und lassen den Aspekt der Struktur- und Strategievianz außen vor. Dennoch bietet die Arbeit gute Ansätze zum Aufbau von Produktionsregelungssystemen. Die dargestellten topologischen Vorschläge dienen als Ausgangsbasis für den Reglerentwurf für zeitvariante Produktionssysteme.

3.4.3 Störungsmanagement

Störungsmanagement beinhaltet alle aufeinanderfolgenden Maßnahmen, die von der Störungserkennung über die Störungsbeseitigung bis zur Störfolgenminimierung reichen [BAMBERGER 1996]. Im Rahmen der Regelung zeitvarianter Produktionssysteme sollen

sowohl gewollte Änderungen (Umplanungen) als auch gravierende Störungen betrachtet werden. Zur Klassifizierung der verschiedenen Störungen und der möglichen Behebungsmaßnahmen werden verschiedenen Ansätze des Störungsmanagements untersucht.

LEHMANN 1992 konzipiert ein System zur Erleichterung der Entscheidungsfindung im Falle auftretender Störungen in der Montagesteuerung und beschränkt sich dabei auf die Einzel- und Kleinserienmontage. Bei der Entwicklung des Störungsmanagement-Modells stehen die Umplanung und die Bewertung der Umplanungsergebnisse im Zentrum der Bemühungen. Dadurch sollen eine Erhöhung der Transparenz verflochtener Strukturen in der Montage, die Berücksichtigung verschiedener Zielsetzungen und eine nachvollziehbare Bewertung der getroffenen Maßnahmen erreicht werden. Zunächst werden eine Reihe von Merkmalen, welche für die Entscheidungssituation in der Einzel- und Kleinserienmontage typisch sind, identifiziert.

Das Modul zur Umplanung basiert auf der Theorie der Fuzzy-Petri-Netze, die vernetzte Strukturen und unscharfe Daten, wie sie insbesondere in der Montage anzutreffen sind, abbilden können. Zur Charakterisierung der Ziele werden sogenannte Zugehörigkeitsfunktionen eingesetzt. Mit Hilfe des Konzeptes des Umplanungsfensters gelingt LEHMANN eine Beschränkung der Auswirkungen der Störungen auf einen möglichst kleinen Bereich. Die Bewertung der Umplanung wird durch ein Kennzahlensystem unterstützt. Dieses Kennzahlensystem von Lehmann bildet die Ausgangsbasis für die Umplanung von zeitvarianten Produktionssystemen und wird bei der weiteren Betrachtung als Planungsbasis beschrieben.

Das Konzept von WILDEMANN 1994 zum Entstörmanagement wird als Funktion eines PPS-Systems organisatorisch in einem Entstörleitstand verankert. Als Basisstrategien identifiziert er die Verminderung der Störfrequenz und eine Verbesserung der Entstöreffizienz. Erstere ist im Zuge einer Beeinflussung der Prozeßhäufigkeit und einer Verminderung der Störanfälligkeit zu erreichen, letztere durch die Verkürzung der Störzeiten nach Störungseintritt und die Optimierung des Störaufwandes. Abbildung 10 zeigt die Zusammensetzung des Störungsschadens nach Wildemann.

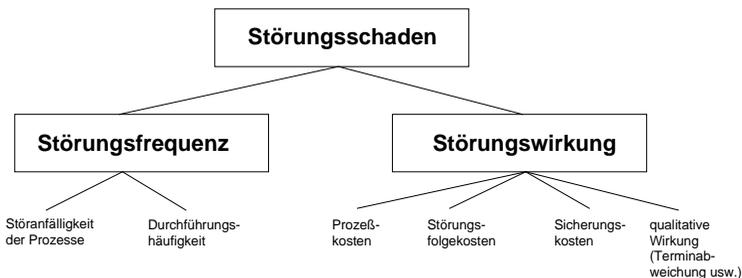


Abbildung 10: Bestimmungsfaktoren des Störungsschadens (nach Wildemann 1994)

Die eigentliche Entstörung wird durch den Aufbau mehrerer Regelkreise realisiert. Der langfristigste Regelkreis, die *Strukturoptimierung*, legt die grundsätzlichen Ziele der PPS und der Produktion fest, ist also auf der Ebene der Unternehmensleitung angesiedelt und liegt insofern nicht im Einflußbereich des hier vorgestellten Regelungskonzeptes. Der zweite Regelkreis, die *Methodenoptimierung*, betrachtet lediglich aggregierte Stördaten und wertet einen dauerhaften Anstieg des Störaufkommens als Indiz für die verminderte Effektivität der eingesetzten PPS-Methoden. In Abbildung 11 sind die erwähnten Regelkreise zusammenfassend dargestellt. Nach einer Wirkungsanalyse und Visualisierung von Systemwerten werden die PPS-Methoden an das veränderte Umfeld angepaßt. Wesentliches Element ist dabei die Verankerung der neu gefundenen Methoden in sogenannten Standards, die als Grundlage für künftige Schulungen und das Controlling dienen. Der letzte Regelkreis, die *Parameteroptimierung*, dient der Identifikation, Lokalisierung und Bewertung von Störungen. Diese werden im Zuge der Umsetzung vorab erstellter Entstörpläne sowie deren Überwachung beseitigt. Im wesentlichen handelt es sich bei diesen Methoden eher um konzeptionelle Gestaltungsvorschläge als um konkrete, anwendungsbezogene Handlungsempfehlungen. Dennoch liefert dieser Ansatz wertvolle Hinweise für den Aufbau einer geschlossenen Methodik zur Störungsbeherrschung, das heißt bei der Überführung des Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand.

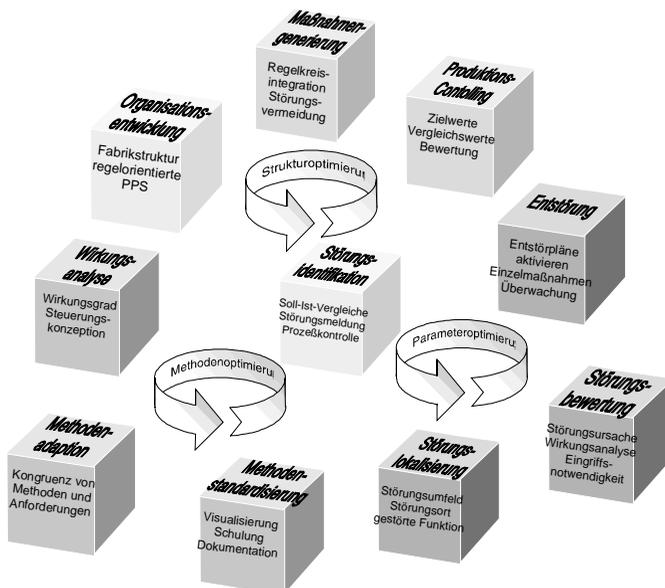


Abbildung 11: Entstörmanagement als PPS- Funktion (nach Wildemann 1994)

BAMBERGER 1996 verfolgt im Zuge des Störungsmanagements den Ansatz, durch die Konzeption eines separaten Systems die Behebung von Störungen in der Einzel- und Kleinserienfertigung zu erleichtern. Im Störfall soll sowohl eine automatisierte Umplanung als auch eine manuelle Umplanung möglich sein. Dazu werden in Abhängigkeit zu den aufgetretenen Störungen individuelle Verfahren generiert, welche eine rasche und an die jeweiligen Fertigungsziele angemessene Reaktion erlauben. Im Zuge des Störungsmanagements werden folgende Schritte beschrieben: Ausgehend von der Auftragsfreigabe werden eventuelle Störungen analysiert und die Störungsauswirkungen bestimmt. Nach der Analysephase erfolgt eine Abstimmung der Zielsetzung, welche Zielgröße im Sinne eines Zielsystems favorisiert werden soll (Durchlaufzeit, Kapazitätsauslastung oder Termintreue). Nach der Festlegung des „gewichteten“ Zielsystems erfolgt der Eingriff im Belegungsplan. Geschlossen wird der Planungszyklus durch die Messung der Zielerreichung anhand geeigneter Kennzahlen. Im Blickpunkt der Betrachtung steht hierbei der Produktionsplaner, im speziellen der Meister, Leiter eines Profit-Centers bzw. Produkt/Cost-Centers.

Die Arbeit von BAMBERGER stellt aufgrund der umfassenden Darstellung der Aufgaben des Störungsmanagements die Basis für die Strukturierung der Umplanungsmaßnahmen für zeitvariable Produktionssysteme dar.

3.4.4 Produktionsleittechnik

Die organisatorische Einordnung zentrale/dezentrale Leittechnik stellt die Ausgangsbasis für die vorzunehmenden Umplanungsmaßnahmen dar. Zur Ableitung der richtigen Maßnahmen für die Überführung des Systems in einen neuen Betriebszustand werden in diesem Abschnitt die Teilgebiete der PPS und eine begriffliche Klärung des Leitstandes vorgenommen.

Elektronische Leitstände finden im Zusammenhang mit der Tendenz zur Abkehr von zentralistischen Planungskonzepten hin zu lokal verteilten PPS-Komponenten eine zunehmende Verbreitung (KURBEL 1993, SEITE 235 FF). Sie übernehmen dabei in der Regel produktionsnahe Teilaufgaben der PPS, wie z.B. die Betriebsmittelbelegungsplanung (Einplanung von Arbeitsgängen auf einzelnen Arbeitssystemen), die Kapazitätsabstimmung mit Hilfe von Belastungsprofilen, die Entgegennahme und Auswertung von Rückmeldungen aus der Produktion oder die Kontrolle des Arbeitsfortschrittes. Da sich hier mit ursprünglichen Aufgaben der PPS Überschneidungen ergeben, muß eine klare Zuordnung der Zuständigkeiten vorgenommen werden. Der eigentlichen PPS obliegt die Grobplanung, also die Festlegung von Fertigungsaufträgen und –arbeitsgängen sowie die Bestimmung von Eckterminen im Zuge der Durchlaufterminierung.

Je nach Organisation der Leittechnik erfolgt eine unterschiedliche Durchsetzung der im Vorfeld identifizierten Maßnahmen. Diese Informationen werden dann zur weiteren Feinplanung an die lokalen Leitstände übergeben, welche die konkrete Belegung der Betriebsmittel, die kurzfristige Planung einzelner Arbeitsgänge sowie die Störungsbehandlung oder Reaktion auf Planabweichungen vorzunehmen hat.

In der Literatur wird neben dem Begriff des Leitstandes auch häufig der des Fertigungsleitsystems genannt. Da einige Autoren beide Begriffe synonym verwenden, obwohl inhaltliche Unterschiede bestehen, sei an dieser Stelle eine terminologische Differenzierung vorgenommen. Sog. Fertigungsleitsysteme beinhalten Funktionen zur Prozeßsteuerung und –überwachung für automatisierte Fertigungssysteme. Über diese technischen Steuerungsfunktionen hinaus umfaßt ein Leitsystem jedoch auch Funktionalitäten wie die Termindisposition oder Kapazitätsterminierung, die inhaltlich dem Fertigungsleitstand zugeordnet sind.

3.4.5 Logistik-Controlling

Kaum ein Untersuchungsfeld im Bereich der Betriebswirtschaft hat in der Vergangenheit derart unterschiedliche Definitionen und Konzepte erfahren wie das Controlling. Exemplarisch sei hier die Definition nach WEBER 1995 genannt, der das Controlling als Instrument zur Unterstützung von Entscheidungs- und Steuerungsprozessen im Unternehmen sieht. Auf eine einführende Beschreibung der unterschiedlichen Ansätze wird an dieser Stelle verzichtet, da für die vorliegende Arbeit lediglich kleine Teilaspekte dieses weitreichenden Gebietes relevant sind. Insbesondere Kennzahlen bzw. Kennzahlensysteme, die den Bereich der Fertigung charakterisieren, die Änderungen in diesem Umfeld aufzuzeigen und zu quantifizieren in der Lage sind, werden eingehender beschrieben (vgl. Abschnitt 3.5.4).

GROTH 1992 präsentiert ein System, welches mit Hilfe von Kennzahlen die Situation eines Fertigungsbetriebes abzubilden versucht, um dem Anwender ein Hilfsmittel zur Beurteilung des Betriebes in die Hand zu geben. Die Konsequenzen geplanter Änderungen sollen durch graphische Abbildungen transparenter gemacht werden. Insbesondere die Frühwarnfunktion der Kennzahlen ist bei der Identifikation von Gefährdungsbereichen hilfreich. Dieser Ansatz wird zur Konzeption für die Migration von zeitvarianten Produktionssystemen weiterentwickelt.

BIERI 1995 will einem Produktions-Controller eine Methodik des "vernetzten Denkens" und Kennzahlen an die Hand geben, die ihn in seiner Tätigkeit bei der Analyse von Prozessen und Ergebnissen und der frühzeitigen Identifikation von Gefährdungsbereichen unterstützen soll. Den wesentlichen Inhalt stellt dabei eine Anleitung zur unternehmensindividuellen Definition, Implementation und Interpretation von Kennzahlen dar. Diese werden aus dem "Zieldreieck der Produktion", bestehend aus Produktivität, Qualität und Zeit, abgeleitet.

BIERI will die Einflußgrößen auf die Ziele in der Produktion, Zusammenhänge zwischen den Einflußgrößen, geeignete Kennzahlen zur Abbildung strategischer Ziele und zur Schwachstellenlokalisierung sowie Methoden zur Ermittlung der unternehmensrelevanten Kenngrößen ermitteln, beschränkt sich bei seinen Untersuchungen jedoch auf industrielle Großserienhersteller und Massenfabrikanten.

Die Methodik zur Ermittlung von Kennzahlen und des Aufbaus eines Kennzahlensystems ist durch fünf Schritte beschrieben: Zunächst werden die Zielsetzung und Systemgrenzen festgelegt, dann die Vernetzung ermittelt (Einflußfaktoren auf das Ziel so-

wie gegenseitige Beziehungen und Rückkopplungen), um anschließend die Dynamik des Systems zu erfassen. Dabei interessieren die Stärke der Beziehungen zwischen den Systemelementen, welche in aktive (starker Einfluß, kaum beeinflussbar durch andere Größen) und kritische (starker Einfluß, selbst auch stark beeinflussbar) Größen differenziert werden. Die Bestimmung von Lenkungsmöglichkeiten (Faktoren, welche auf der jeweiligen Unternehmensebene beeinflusst bzw. kaum beeinflusst werden können) und die Definition des Kennzahlensystems bilden die letzten Schritte. Das Kennzahlensystem beinhaltet dabei Indikatoren, die zur Messung der Ziele geeignet sind, sowie weitere Größen zur Beschreibung der Dynamik.

Der Aufbau des Kennzahlensystem liefert wertvollen Informationen für die Entwicklung der Planungsmethode für zeitvariante Produktionssysteme. Speziell für die erste Phase der entwickelten Planungsmethode, die *Analyse* (vgl. Abschnitt 6.6.1), konnte der Ansatz von BIERI weiterentwickelt werden.

CORDES 1993 erarbeitet ein computergestütztes integriertes Logistikkonzept (CIL) für Unternehmen der industriellen Fertigung und implementiert dieses am Beispiel eines Zulieferers der Automobilindustrie.

Nach einer Übersicht zur Entwicklung der weltweiten Automobilindustrie und diverser Strategien erfolgt die Beschreibung eines logistischen Kennzahlensystems, welches grob nach externer (Kundenzufriedenheit) und interner Logistikkompetenz (Planungs- und Ausführungskompetenz) unterscheidet und einen ROI- und Cash-Flow-Vergleich vornimmt. Die Kundenzufriedenheit wird dabei am Verhältnis des Lieferservice des eigenen Unternehmens bzw. der Konkurrenz gemessen. Die interne Logistikkompetenz unterscheidet nach Planungs- und Ausführungskompetenz.

Zur Realisierung der Computerunterstützung werden Systemkomponenten zur Beschreibung der physischen Gütertransformation (Lagerung, Transport, Verpackung, Umschlag) sowie des logistischen Planungs- und Steuerungsraumes (Auftragsabwicklung, PPS, Beschaffungsplanung und -steuerung) eingeführt. Abschließend erfolgt eine Integration des CIL-Konzeptes in den Gesamt-Verbund aller CIM-Komponenten. Der Ansatz von CORDES bietet für die Implementation der entwickelten Planungsmethode wertvollen Hinweise, welche für die Umsetzung genutzt werden.

3.5 Methodik der untersuchten Ansätze

3.5.1 Simulationstechnik

Mathematisch-analytische Methoden stoßen wegen der Vielzahl von zufalls- und zeitabhängigen Systemgrößen sowie der komplexen Wechselwirkungen zwischen einzelnen Systemelementen bei der Untersuchung komplexer technischer Systeme an ihre Grenzen (FELDMANN 1997, VDI 3633 BLATT1. SEITE 2, KUHN 1993, REINHART 1997 B). Die Simulationstechnik erlaubt hingegen, das zeitliche Ablaufverhalten solcher Systeme zu untersuchen.

Nach VDI 3633¹ ist unter Simulation die „*Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell zu verstehen, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind*“.

Die Vorteile der Simulation gegenüber anderen Methoden sind in der Möglichkeit zur Untersuchung

- real (noch) nicht existierender Systeme,
- existierender Systeme ohne Eingriff in den Betriebsablauf,
- zahlreicher Szenarien bei minimalem Arbeitsaufwand,
- des Systemverhaltens über längere Zeiträume hinweg (Zeitraffung) und
- von dynamischen Anlaufvorgängen und Übergängen zwischen verschiedenen Betriebszuständen

zu sehen. Diese Vorteile entsprechen auch den Anforderungen für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme. Beispielsweise existiert beim Anlauf eines neuen Produktionssystems zum Zeitpunkt der Planung noch kein reales System zum testen bzw. kann aufgrund des laufenden Betriebes nicht zum Test verwendet werden. In beiden Fällen sind natürlich auch die Kosten für die Testphase miteinzubeziehen. Speziell bei der Überführung des System in einen neuen Betriebszustand müssen desweiteren unterschiedliche Möglichkeiten getestet und bewertet werden. Aufgrund der hohen Relevanz für die Migrationsbeschreibung wird die *Simulationstechnik* genauer untersucht.

Gerade die Durchführung von „Was–Wäre–Wenn“-Analysen bietet im Zusammenhang mit den Aufgabenbereichen der Produktion erhebliche Potentiale bei der Verbesserung der Entscheidungskompetenz. Damit können erstmals die aus der Intransparenz der Produktionsstrukturen und der mangelnden Kenntnis über die Konsequenzen vorgenommener Eingriffsmaßnahmen resultierende Probleme vermieden werden. Auch die Verbesserung der Planungsgrundlagen, wie z.B. die Übergangszeiten, die nach konventionellen Methoden auf Schätzwerten beruhen und bei der Simulation als Ergebnisse derselben genau bekannt sind, tragen zur Qualitätsverbesserung bei.

Darüber hinaus bietet die zeitgeraffte Betrachtung der Abläufe in einem Simulationsmodell die Chance, latent vorhandene Gefährdungspotentiale aufzudecken und über präventive Maßnahmen zu eliminieren.

Im *Vorfeld der Produktion* können sowohl Planungsaufgaben, z.B. die Strukturplanung komplexer Produktionssysteme oder die Auslegung von Anlagen und Transportsystemen, als auch die Entwicklung von Verfahren und deren Test vor Einführung im Betrieb vereinfacht werden.

Aber auch unmittelbar im Bereich der *laufenden Produktion* kann die Simulation zu Steuerungs– (Hilfsmittel bei der Auswahl geeigneter Steuerstrategien), Regelungs– (Bewertung der Erfolgsaussichten und Konsequenzen von Maßnahmen) und Überwachungsaufgaben (Unterstützung der Kontrolle des Produktionsfortschrittes, kontinuierli-

¹ VDI 3633 Blatt1, S3; siehe hierzu auch Definitionen von Systemen, Prozessen und Modellen

cher Soll-Ist-Vergleich anhand einer betriebsbegleitenden Simulation) herangezogen werden (FELDMANN 1992, KUHN 1998, MILBERG 1991, SEITE 76 FF, LULAY/MÖßMER/RUDORFER 1998).

Die in der Literatur vorgefundenen Einsatzbereiche beschränken sich weitestgehend auf das Vorfeld der Produktion zur Fundierung von strategischen und operativen Entscheidungen. Sie wird kaum darüber hinaus zur längerfristigen Entscheidungsunterstützung genutzt, so daß das in den bereits erstellten Modellen ruhende Potential ungenutzt bleibt (Rauh 1998, HEITMANN 1997, REINHART 1997 A, REINHART/DECKER/HEITMANN 1997). Ursache hierfür ist die mangelnde Integration der Simulationswerkzeuge in das betriebliche Datenverarbeitungsumfeld (Fehlen geeigneter Schnittstellen der BDE/MDE zur Datenbasis des Simulationskerns usw.).

Bei der Simulation von Vorgängen im Bereich der PPS können zwei verschiedene Simulationstypen unterschieden werden (WIENDAHL 1990, SEITE 137FF). Als Abgrenzungskriterium dient die Art und Weise, in der die Komponenten des PPS-Regelkreises im Rahmen der Simulation berücksichtigt werden. GÜNZEL 1993 nimmt hier eine weitere Klassifizierung vor. Er unterscheidet dabei, inwieweit es sich bei der Simulation um eine reine Nachbildung oder um ein real existierendes, operativ eingesetztes PPS-System handelt (siehe Abbildung 12).

Bei Typ 1 – auch als “Simulation im weiteren Sinne” bezeichnet – ist nur das eigentliche PPS-System Element des PPS-Regelkreises. Typ1A beschreibt die Nutzung eines PPS-Systems als Hilfsmittel für die Durchführung statischer “Was-Wäre-Wenn“-Analysen (Untersuchung verschiedener Pläne für unterschiedliche Produktionsprogramme, Auftragsprofile usw.). Typ 1B charakterisiert dagegen die rechnergestützte Modellierung eines PPS-Systems, um auf diesem Wege für prototypische Systeme Vergleiche unterschiedlicher Verfahren o.ä. anstellen zu können.

Typ 2 – die “Simulation im engeren Sinne” – berücksichtigt sowohl das PPS-System als auch das eigentliche Durchführungssystem. Erst dieser Ansatz eröffnet die Möglichkeit, das dynamische Verhalten des Gesamtsystems abzubilden und damit Wechselwirkungen zu untersuchen. Auch hier ist wieder eine Unterscheidung in Typ 2A und 2B zu finden. Im ersten Fall wird bei der Abbildung ein reales PPS-System zugrunde gelegt, im zweiten Fall werden Teilfunktionen des PPS-Systems im Simulator modelliert und durch Variation von Stellgrößen an den jeweiligen Untersuchungsgegenstand angepaßt. Für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen kann nur der Simulationstyp 2 verwendet werden.

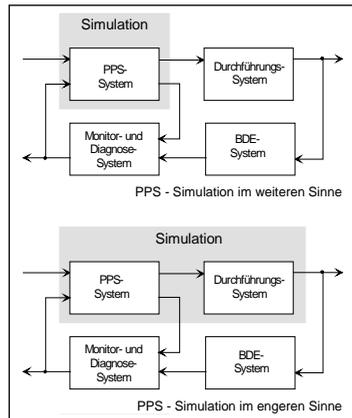


Abbildung 12 – Abgrenzung von Simulationstypen (nach Günzel 1993)

Im Rahmen der Planung und Umsetzung von Migrationsstrategien bildet die Simulationstechnik den zentralen Betrachtungsgegenstand. Im Zuge von "Was-Wäre-Wenn" - Analysen wird die Simulationstechnik planungsbegleitend in frühen Phasen eingesetzt. Dabei werden einerseits Störungsanalysen zur Bewertung der Störungsfolgen durchgeführt andererseits erfolgt eine Bewertung der identifizierten Maßnahmen zur Behebung eventueller Störungen. Bei der Umsetzung findet die Simulation als "Prädiktor" Anwendung. Dabei werden eventuelle entstehende Totzeiten durch eine "Voraussimulation" umgangen. Der Einsatzbereich der Simulationstechnik wird im Kap. 5 beim Entwurf der Reglerstruktur konkret besprochen.

3.5.2 Künstliche Intelligenz (KI)

Aufgrund der Fülle von Maßnahmen und Möglichkeiten zur Überführung des Produktionssystems in einen neuen Betriebszustands ist der Planer bei der Maßnahmenidentifikation zu unterstützen. Eine mögliche Hilfe könnte hier die Methode der künstlichen Intelligenz bieten.

Für den Begriff der "künstlichen Intelligenz" (KI) oder auch "artificial intelligence" (AI) fehlt bislang eine einheitliche Definition. Den verschiedenen Auffassungen ist dabei das Ziel der psychologischen Modellierung der menschlichen Entscheidungsfindung und deren rechnergestützte Abbildung zur Unterstützung von Entscheidungen gemeinsam (BLUMBERG 1991, SEITE 13).

Die technische KI versucht, Systeme zur Lösung komplexer Probleme zu entwickeln, für welche zwar klare Algorithmen fehlen, die jedoch routinemäßig von menschlichen Fachleuten gelöst werden (HUBER 1990, SEITE 10). Die KI umfaßt dabei verschiedene Anwendungsbereiche:

- Expertensysteme bzw. wissensbasierte Systeme,
- Deduktionssysteme und automatisches Beweisen,
- Verarbeitung natürlicher Sprache,
- Robotik und
- Bilderkennen.

Expertensysteme oder wissensbasierte Systeme werden für Planungs- und Diagnoseaufgaben und als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung eingesetzt. Die von der Verwendung solcher Systeme erhofften Nutzeffekte sind u.a. die Vereinfachung von Arbeitsgängen, Verkürzung von Durchlauf- und Reaktionszeiten, Sicherheit, vollständige Berücksichtigung aller verfügbaren Fakten und Verbesserung der Entscheidungsqualität bei gleichzeitig sinkenden Ansprüchen an die Qualifikation und Schulung des Bedienpersonals.

Darüber hinaus lassen sich jedoch auch erhebliche Nutzeffekte für den Planer durch den Zwang zur Analyse seiner Tätigkeit und zur Strukturierung seines Wissens erzielen (BLUMBERG 1991, SEITE 199). Dadurch werden Transparenz, Erkenntnisse über Zusammenhänge, ein Wissenstransfer vom Fachmann (Entwickler) zum weniger qualifizierten

Bediener und Lerneffekte beim Sachbearbeiter durch die Hinweis- und Erklärungskomponenten des Systems erreicht.

Der Architektur eines wissensbasierten Systems liegt nicht mehr eine algorithmische Struktur der realen Abläufe, sondern eine Wissensbasis zugrunde, welche die realen Gegebenheiten beschreibt und klassifiziert (HUBER 1990, SEITE 10F). Charakteristisch ist die Trennung des anwendungsspezifischen Wissens in der Wissensbasis von einer anwendungsunabhängigen Schlußfolgerungskomponente (BLUMBERG 1991, SEITE 21FF). Bislang anwendungsspezifische Funktionen bzw. Prozeduren werden durch allgemeine Schlußfolgerungsmechanismen ersetzt.

Ein solches wissensbasiertes System besteht aus der bereits erwähnten Wissensbasis, einer Erklärungskomponente, die den Ablauf und das Ergebnis des Verarbeitungsprozesses transparent darstellen soll, einer Wissensaquisitionskomponente, welche der Ergänzung neuen Wissens in die Wissensbasis dient, einer Inferenzkomponente zur Problemlösung und der Dialogkomponente, die dem Dialog mit dem Benutzer dient und eine Schnittstelle zum Umfeld des Systems zur Verfügung stellt. Die Implementierung eines wissensbasierten Systems kann über Expertensystem-Shells erfolgen, deren zunächst leere Wissensbasis mit anwendungsspezifischem Wissen gefüllt werden muß (STEINMANN 1992, SEITE 11F).

Als problematisch bei der Wissensmodellierung stellt sich die Abstraktion und Modellierung des Praxiswissens in eine kompilierte Form dar. Die Übertragung eines Verhaltens aus der Realität auf eine Beschreibung in einer Wissensbasis geschieht durch eine Transformation von Modellen, welche als Zwischenergebnisse verschiedener Entwicklungsphasen gedeutet werden können. Damit erhält man einen Ausschnitt aus der Realität durch die Abstraktion nicht relevanter Dinge aus dem aktuellen Kontext (BURGER 1992).

Die in der Literatur zu findenden Studien (MERTENS 1988; BULLINGER 1990) über die Einsatzbereiche von wissensbasierten Systemen im betrieblichen Umfeld belegen die Dominanz des Bereiches der Konstruktion. Einen zweiten Schwerpunkt bildet die Produktionsplanung und -steuerung. Besonders zu erwähnen ist hierbei die fertigungsnahe Erstellung von Arbeitsplänen unter Berücksichtigung von verfügbaren Fertigungskomponenten und einsetzbaren Fertigungsverfahren sowie Ansätze zur Auftragseinlastung und Belegungsplanung, die neben den Restriktionen der Fertigung auch Interdependenzen zwischen den Bezugsgrößen der Planung berücksichtigen.

Eine Klassifikation wissensbasierter Systeme nach Aufgabentypen differenziert in (BULLINGER 1990):

- Diagnose (Ursachenermittlung bei auftretenden Fehlern durch Dateninterpretation),
- Selektion (Alternativenauswahl),
- Planung (Erzeugen von Maßnahmenfolgen zur Erreichung eines gewollten Zustandes),
- Interpretation (Interpretation von Daten durch Modelle),
- Überwachung (Erkennen von Fehlerzuständen unter Echtzeitbedingungen) und
- Entscheidung (Entscheidungsunterstützung bei gegebenen Randbedingungen).

Beim Einsatz wissensbasierter Systeme erweisen sich zahlreiche Eigenschaften dieses Ansatzes als vorteilhaft (STEINMANN 1992, SEITE 71):

- Der zu bewältigende Problembereich muß für eine Abbildung nicht vollständig beschrieben sein.
- Fehlendes Wissen bedeutet keinen Abbruch der Abfrage sondern kann vom Benutzer erfragt werden.
- Präferenzen für Informations-, Handlungs- und Entscheidungsalternativen können situationsabhängig den Präferenzen eines menschlichen Experten nachempfunden werden.

Für den effizienten Einsatz von wissensbasierten Systemen müssen jedoch einige Voraussetzungen erfüllt sein (RUFFING 1991, SEITE 168 F; STEINMANN 1992, SEITE 71F):

- Das Problem umfaßt einen klar abgegrenzten Problembereich und läßt sich eindeutig definieren.
- Für das Problem, aufgrund fehlender umfassender Vorschriften, existiert noch kein in sich geschlossenes Lösungsverfahren, weshalb mit konventionellen Mitteln kein befriedigendes Ergebnis zu erzielen ist.
- Für die Problemlösung ist in erster Linie die Anwendung von Heuristiken (Daumenregeln, Erfahrungswissen) erforderlich.
- Wissen, Fakten und Regeln müssen formulierbar sein und sollten aus nicht allzu heterogenen Bereichen stammen.
- Der Umfang des abzubildenden Wissens bzw. des Tätigkeitsbereiches muß angemessen sein (weder zu trivial noch zu komplex).

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge bei der Überführung des Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand ist der Planer bei der Auswahl von Maßnahmen zu unterstützen. Durch das begrenzte Erfahrungswissen stoßen jedoch wissensbasierte Systeme an ihre Leistungsgrenzen. Die zu identifizierenden Maßnahmen sind einerseits fallspezifisch, andererseits treten die Umplanungsnotwendigkeiten im Normalfall nur einmal unter den gleichen Randbedingungen auf. Aufgrund des nicht klar abgegrenzten Problembereichs und der Fülle des abzubildenden Wissens sind wissensbasierte Systeme nicht geeignet die Generierung von Maßnahmen zur Migration von Produktionssystemen zu unterstützen. Ein eventueller Einsatz dieser Systeme kann sich bei Generierung von Standardmaßnahmen ergeben (vgl. Abschnitt 6.6.4).

3.5.3 Kybernetik

Gegenstand der Untersuchungen zur Anwendung der Kybernetik ist in erster Linie der Versuch einer systemtechnischen Modellierung, welche mit dem Ziel einer ganzheitlichen Betrachtungsweise versucht, komplexe Systeme in kleinere Teilsysteme zu zerlegen, um so das Gesamtsystem nach unterschiedlichsten Aspekten (z.B. Hierarchie, Struktur, Funktion, Attribute usw.) strukturieren zu können. Die betrachteten Systeme werden in sog. strukturbildende Elemente, welche über Attribute und Relationen näher

beschrieben werden können (statische Elemente), und temporär im System vorhandene Elemente (dynamische Elemente) aufgelöst.

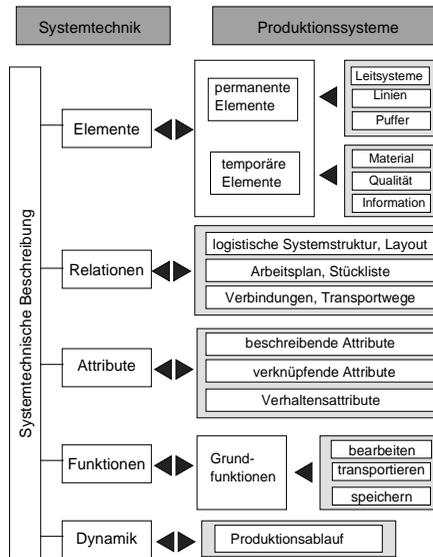


Abbildung 13: Systemtechnische Darstellung eines Produktionssystems (nach Wieneke-T 1987)

Damit wird eine Abbildung der Funktion des Produktionssystems über Modellelemente und verhaltensbeschreibende Attribute möglich (vgl. Abbildung 13). Dieser systemtechnische Ansatz bildet die Ausgangsbasis für die Darstellung von Maßnahmen bzw. Maßnahmenplänen zur Überführung eines Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand. Die Darstellung der Maßnahmen wird in Abschnitt 6.6.4 näher beschrieben. Den Ausgangspunkt bei der Beschreibung der Maßnahmen bildet die systemtechnische Darstellung des Produktionssystems. Die im vorliegenden Kontext interessierenden Produktionssysteme, welche als offene und dynamische Systeme angesehen werden, erfahren eine Beschreibung unter system-, regelungs- und informationstechnischen Aspekten.

Ein Produktionssystem besteht aus einer Vielzahl von vermaschten Regelkreisen auf unterschiedlichen Ebenen. Der systemtheoretische Aspekt umfaßt dabei die Kenntnis über das Gesamtsystem und seiner Teile (Ordnungsprinzip des Systems). Der regelungstechnische Aspekt versucht Aussagen über die Möglichkeit einer Aufrechterhaltung der Systemstabilität trotz vorhandener Störungen zu machen. Unter dem information-

stechnischen Aspekt wird die Regelung als ein Informationsprozeß aufgefaßt, welcher aus Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung von Informationen besteht. Derzeit existieren noch keine befriedigenden analytischen Verfahren zur Regelung mehrstufiger auftragsbezogener Produktionsprozesse. Ein Problem sind dabei sicherlich die aufgrund variabler Totzeiten nicht-linearen Prozesse. Da selbst im Bereich der Forschung keine Ansätze zu finden sind, die sich auch nur annäherungsweise zur Bewältigung der beschriebenen Problematik eignen, werden die bestehenden Ansätze im Bereich der Kybernetik nicht weiter untersucht.

3.5.4 Kennzahlensystem

Vor dem Hintergrund einer steigenden Komplexität von Produkten, Produktionsstrukturen und –verfahren gestaltet sich nicht nur die Planung der Auftragsabwicklung im weitesten Sinne zunehmend schwieriger, auch die Kontrolle der Wirksamkeit vorgenommener Maßnahmen zur Überführung von Produktionssystemen in einen neuen Betriebszustand wird immer aufwendiger. Zur Bewältigung der steigenden Anforderungen in diesem Bereich muß ein effizientes Logistik-Controlling-System implementiert werden, welches durch die Beschaffung, Verdichtung und Bereitstellung von entscheidungsrelevanten Informationen die Planung, Steuerung und Kontrolle betrieblicher Teilbereiche unterstützt (REICHMANN 1995, SEITE 16F, LOOKS 1996). Hauptaufgaben des Controlling sind in diesem Zusammenhang die Gestaltung und Pflege eines betrieblichen Informationssystems, die Mitwirkung in der betrieblichen Planung, die Vornahme von Kontrollen sowie eine Ursachenanalyse und das Anbieten von Verbesserungsmaßnahmen im Falle von Abweichungen (REICHMANN 1997).

Die für einen Migrationsvorgang relevanten Beschreibungsgrößen ergeben sich aus logistischen und betriebswirtschaftlichen Zielen sowie den spezifischen Eigenschaften der Anlagen und Strukturen. Dabei bleibt zu berücksichtigen, daß diese Größen u.U. in Abhängigkeit des jeweiligen Zeitpunktes des Übergangsvorganges variieren können.

Als praktisches Beispiel sei hier etwa der Anlauf eines neu installierten Produktionssystems angeführt. Während in der unmittelbaren Anlaufphase die Beherrschbarkeit des Prozesses im Vordergrund steht, wird zu späteren Zeitpunkten eine Optimierung der Prozeßabläufe angestrebt werden.

Konkret formuliert bedeutet dies, daß bei der Inbetriebnahme der Anlage beispielsweise zunächst versucht wird, die auftretenden Störungen schnellstmöglich zu beseitigen. Dies kann etwa durch das Vorhalten größerer Bestandspuffer erreicht werden. Die rasche Verkürzung der Taktzeiten steht zu diesem Zeitpunkt im Vordergrund, um die produzierten Stückzahlen schnellstmöglich erhöhen zu können. Sobald die in der ersten Anlaufphase aufgetretenen Probleme beherrscht werden, gilt es, durch Konzentration auf neue Zielgrößen, wie z.B. die Wirtschaftlichkeit, die Prozeßgüte zu verbessern. Dazu wird etwa die Gewichtung des Zielkriteriums "geringe Ausschußquote" zugunsten des Zieles "geringe Bestände" verkleinert und werden die zunächst überdimensionierten Bestandspuffer sukzessive abgebaut.

Dieses Beispiel verdeutlicht zwei Dinge:

- Zum einen gilt es, relevante Größen zur Beschreibung des Zustandes eines Produktionssystems zu identifizieren. Die "Relevanz" beschreibt hier die Bedeutung einer Größe für die "Machbarkeit" einer geregelten Überführung in neue Betriebszustände.
- Darüber hinaus muß jedoch auch die zeitpunktabhängige Bedeutung der beobachteten Größen unter Berücksichtigung der Gründe für den Betriebszustandswechsel ermittelt werden.

Mit genauer Kenntnis der relevanten Größen und ihrer zeitabhängigen Gewichtung innerhalb einer Zielfunktion wird die Vorgabe von Meilensteinen für den Übergang möglich.

3.5.4.1 Kennzahlenbegriff

Trotz der vielgestaltigen Entwicklung, die der Begriff der Kennzahl erfahren hat, besteht heute in der Literatur ein weitestgehender Konsens hinsichtlich seiner Definition (REICHMANN 1995, SEITE 15). REICHMANN bezeichnet Kennzahlen als Informationen, die Sachverhalte und Tatbestände in einer konzentrierten Form wiedergeben. Die wichtigsten Elemente einer Kennzahl sind damit

- der Informationscharakter,
- die Quantifizierbarkeit und
- die spezifische Form der Information.

Die Möglichkeit, Urteile über Sachverhalte und Zusammenhänge mittels Kennzahlen abgeben zu können, soll mit dem Begriff *Informationscharakter* verdeutlicht werden. Als Quantifizierbarkeit ist die Eigenschaft von Variablen zu verstehen, Sachverhalte meßtechnisch abbilden zu können. Die spezifische Form ermöglicht die vergleichsweise einfache Darstellung komplexer Strukturen oder Prozesse und bietet damit die Chance auf einen schnellen, aber dennoch umfassenden Überblick.

Die auf SIEGWART 1992 zurückgehende Definition "Kennzahlen sind betrieblich relevante, numerische Informationen" verkennt eines der wesentlichen Probleme, nämlich die entscheidungsrelevanten Daten von den irrelevanten Daten zu trennen. Ob und inwieweit eine Größe "relevant" ist, hängt von der spezifischen Zielsetzung und den Umweltbedingungen ab.

3.5.4.2 Klassifikation von Kennzahlen

In der Literatur werden zur Klassifizierung von Kennzahlen die unterschiedlichsten Merkmale herangezogen. Tabelle 2 zeigt mögliche Beschreibungsmerkmale und deren Ausprägungen (GEISS 1986, SEITE 47, REICHMANN 1995, SEITE 17).

Die statistische Form differenziert nach absoluten, also Einzelzahlen, Summen oder Differenzen und relativen Kennzahlen. Letztere werden unterschieden in Beziehungszahlen, die inhaltlich nicht gleichartige Zahlen in Relation setzen, Gliederungszahlen, die

eine Teilmenge zu einer Gesamtmenge in Beziehung setzen, und Indexpzahlen, welche den Verlauf einer Zeitreihe einer absoluten Größe zum Ausdruck bringen.

Die Gliederung den Inhalt betreffend unterscheidet hinsichtlich der monetären Quantifizierbarkeit. Als Informationsbasis kann dabei die Kostenrechnung, die Finanzbuchhaltung oder können Bilanzen dienen. Für den nicht monetären Bereich gilt es, hier geeignete Basen zu identifizieren.

Je nach Bezugsobjekt wird entweder die Gesamtunternehmung oder nur ein Teilbereich durch die Kennzahl abgebildet.

Hinsichtlich des Handlungsbezugs wird zwischen normativen Kennzahlen, welche interne Standards vorgeben und als Handlungsaufforderungen zu verstehen sind, und deskriptiven Kennzahlen, die nur Sachverhalte beschreiben, unterschieden.

Merkmals	Ausprägung
Statistische Form	<input type="checkbox"/> Absolute Kennzahlen <input type="checkbox"/> Verhältnisskennzahlen <input type="checkbox"/> Gliederungszahlen <input type="checkbox"/> Beziehungszahlen <input type="checkbox"/> Indexpzahlen
Inhalt	<input type="checkbox"/> Monetäre Größen <input type="checkbox"/> Nicht monetäre Größen
Bezugsobjekt	<input type="checkbox"/> Gesamtbetrieb <input type="checkbox"/> Betrieblicher Teilbereich
Zeitbezug	<input type="checkbox"/> Zustände <input type="checkbox"/> Ergebnisse <input type="checkbox"/> Entwicklungen
Adressaten der Kennzahlen	<input type="checkbox"/> Interne Empfänger <input type="checkbox"/> Externe Empfänger
Handlungsbezug	<input type="checkbox"/> Normative Kennzahlen <input type="checkbox"/> Deskriptive Kennzahlen

Tabelle 2 – Klassifikation von Kennzahlen

3.5.4.3 Allgemeine Anforderungen an Kennzahlensysteme

Was die Anforderungen betrifft, die in der Literatur an Kennzahlen gerichtet werden, so lassen sich zahlreiche, unterschiedlich ausgeprägte Kataloge anführen (SCHOTT 1991, SEITE 23; GEISS 1986, SEITE 114, SCHLICHTERLE 1997). Im folgenden sollen jedoch nur die im Hinblick auf die beschriebene Problematik relevanten Aspekte angeführt werden. Dabei sind einerseits ganz allgemein jene Ziele zu nennen, die mit dem Einsatz von Kennzahlen verfolgt werden, zum anderen aber auch die eher technischen Aspekte bei der Bildung von Kennzahlen zu beleuchten.

Kennzahlen sollten folgende Aufgabenkomplexe unterstützen:

- Unterstützung der Zielsetzung und Planung unternehmerischer Aktivitäten sowohl im strategischen (langfristigen) als auch im eher operativen Bereich
- Erleichterung der Abwägung von Chancen und Risiken bzw. Konsequenzen bestimmter Entscheidungen
- Systematische Kontrolle von Kosten und Leistungen, Entwicklungen und Ergebnissen

Nur wenn die eingesetzten Kennzahlen bestimmte Voraussetzungen hinsichtlich ihrer Bildung bzw. inneren Eigenschaften erfüllen, kann ihre Aussagefähigkeit garantiert werden. Diese Eigenschaften sind:

- Definitionskonsistenz,
- Operationalisierbarkeit,

- Adäquanz,
- Wirtschaftlichkeit und
- Aktualität.

Der Anspruch der Definitionskonsistenz verfolgt die Forderung nach einer eindeutigen und genauen Definition der Kennzahl. Sind Teile der Kennzahlkomponenten nach unterschiedlichen Gesichtspunkten interpretierbar, so leiden die Kennzahlen im Objekt- oder Zeitvergleich aufgrund der fehlenden Übereinstimmung in ihrer Aussagefähigkeit.

Um dieses Kriterium sicherstellen zu können, bedarf es der Operationalisierbarkeit der Kennzahl. Hierunter ist vor allem ihre einfache Meßbarkeit zu verstehen.

Die Adäquanz beschreibt die Forderung nach der sachlichen Übereinstimmung zwischen der herangezogenen Kennzahl und den verfolgten Zielen. Als andere Umschreibungen lassen sich die Begriffe Zweckerorientierung oder Relevanz anführen.

Der Aufwand und Nutzen einer durch eine Kennzahl abgebildeten Information sollte in einem ausgewogenen Verhältnis stehen, was durch die Forderung nach Wirtschaftlichkeit beschrieben wird. Die operative Umsetzung dieser Forderung gestaltet sich jedoch insoweit als schwierig, da entweder die Kosten für die Ermittlung der Kennzahl oder aber der unmittelbare Nutzen nicht quantifiziert werden können. In der Praxis erfolgt die Umsetzung dieses Anspruches durch eine umfangsmäßige Beschränkung der Kennzahlen bei der Erfassung, Aufbereitung und Verdichtung von Daten.

Die Forderung nach der Aktualität von Kennzahlen erwächst aus der Notwendigkeit zur schnellen Reaktion auf Störungen, die nur dann gewährleistet werden kann, wenn jeweils nur die neuesten Daten in Form von Kennzahlen abgebildet werden. In diesem Zusammenhang gilt es, die Anforderungen, die aus dem Zeitbezug der Kennzahlen erwachsen, gesondert zu diskutieren.

3.6 Bewertung der Eignung der untersuchten Ansätze

Alle vorgestellten Konzepte befinden sich erst in einem prototypischen Stadium. Die zur Verifikation der Einsatztauglichkeit dieser Ansätze herangezogenen "Praxisbeispiele" sind auf spezielle Anwendungsbereiche beschränkt.

Im Hinblick auf die z.T. sehr stark eingeschränkten Anwendungsbereiche und Rahmenbedingungen muß festgestellt werden, daß keines der untersuchten Konzepte geeignet ist, die in den vorangegangenen Abschnitten identifizierten Anforderungen vollständig zu erfüllen.

Dennoch bieten einzelne Arbeiten grundlegende Ansätze, die in Teilbereichen der vorliegenden Arbeit zur Grobkonzeption herangezogen werden können:

Die Arbeiten zur *traditionellen PPS* sind gerade wegen ihrer Beschränkung auf diverse Einsatzgebiete geeignet, die umfeldspezifischen Anforderungen an ein PPS-System und die Schwachstellen gängiger PPS-Systeme zu identifizieren. Beides dient dieser Arbeit als Ausgangspunkt für die Erarbeitung eines Pflichtenheftes. In bezug auf die Problematik zeitvarianter Systeme sind in der Literatur jedoch keinerlei Hinweise oder

Anregungen zu finden, so daß die Anforderungskataloge hinsichtlich dieser Inhalte zu erweitern sind. Erwähnenswert ist die Arbeit von GÜNZEL, der Hinweise auf die Einsatzmöglichkeiten der Simulation im Bereich der PPS, die Abbildung von Dispositions-, Erzeugnis- und Fertigungsstrukturen in Modellen und die Implementierung von Standard-Prozeduren (Planungs- und Steuerungs-Tätigkeiten) gibt. Desweiteren konnten die Arbeiten von BLUMBERG, STEINMANN und HUBER zu den Einsatzmöglichkeiten der KI für Planungsaufgaben zeigen, daß zwar für eng abgegrenzte Einsatzgebiete wissensbasierte Systeme Funktionen unterstützen können, mittelfristig jedoch nicht zu erwarten ist, daß wesentliche Aufgabeninhalte der PPS durch derartige Systeme übernommen werden können. Für die vorliegende Arbeit muß daher die Empfehlung erfolgen, die Implementierung von wissensbasierten Komponenten in das vorgestellte Konzept nicht vor Erreichen eines prototypischen Stadiums anzustreben. Als Fernziel könnte eine Wissensbasis bei der Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Behebung klar definierter Störungen zur methodischen Vereinfachung einer Umplanung eingesetzt werden.

Die Arbeiten, die im Bereich der *Produktionsregelung* angesiedelt sind, dienen in Verbindung mit dem Konzept vermaschter Regelkreise als Vorlage für den hier entwickelten Regelungsansatz. Dazu sind insbesondere die Arbeiten von ZETLMAYER, der erstmals die Integration eines Simulationsmodells in den Produktionsregelkreis im Sinne einer Voraussimulation zur Bewältigung auftretender Totzeiten und zur Optimierung von Eingriffen in das Produktionssystem vorschlägt, und SIMON, der das Konzept von ZETLMAYER um ein adaptives Anlagen- und Auftragsmodell erweitert, zu nennen. SIMON sieht eine Anpassung aller der Simulation zugrundeliegenden Daten in Abhängigkeit mit der real in der Produktion vorzufindenden Situation vor. Durch die kontinuierliche Abbildung des realen Systemverhaltens wird eine "betriebsbegleitende" Simulation möglich. BURGER formuliert eine Reihe von Anforderungen an Produktionsregelsysteme, beschränkt sich dabei jedoch auf rein *zeitinvariante* Systeme, so daß die Forderungen noch um Aspekte zeitveränderlicher Systeme erweitert werden müssen.

Die Arbeiten im Bereich des *Logistik-Controlling*, insbesondere jene von BIERI und CORDES, sind als Anregung für die Erstellung eines Kennzahlensystems hilfreich. Wie aber bereits erwähnt wurde, werden auch hier lediglich statische Systeme angenommen. Dies erfordert eine grundlegende Erweiterung dieser Ansätze.

Abschließend ist zu sagen, daß zur Konzeption der vorliegenden Arbeit im wesentlichen drei *Methodenkreise* herangezogen werden. Diese drei Methodenkreise haben sich aufgrund der thematischen Auseinandersetzung mit der Problemstellung ergeben.

Erstens ist dies die **Simulation**, die als Planungs- und Analyseinstrument und zur Beurteilung der Qualität von Maßnahmen vor deren tatsächlichen Ausführung eingesetzt wird, *zum zweiten* sind dies **Kennzahlensysteme**, die als Planungsgrundlage und als Bewertungskriterium Verwendung finden, und *drittens* sind dies Ansätze zur **Klassifizierung von Betriebstypen**.

Als Konsequenz zu den Ansätzen des Störungsmanagements kann der Handlungsspielraum des Entstörmanagements für zeitvariante Produktionssysteme charakterisiert werden. Die folgenden drei Achsen beschreiben diesen Handlungsspielraum: die Zeit

(Dauer der Störung), die Wichtigkeit der Störung (Schädlichkeit der Störung) und die elementaren Entstöurmaßnahmen (vgl. Abbildung 14)

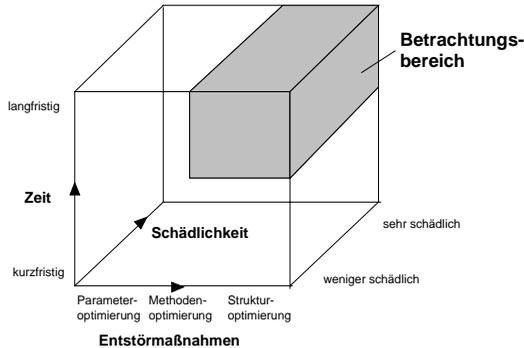


Abbildung 14: Handlungsspielraum des Entstöormanagements

Die durch die Achsen „Entstöurmaßnahmen“ und „Schädlichkeit“ definierte Fläche beschreibt die grundlegende Anwendung der Entstörregelkreise. Die „Zeit-Schädlichkeit-Fläche“ beschreibt die kumulierte Wirkung einer Störung. Die „Zeit-Optimierungsmaßnahmen-Fläche“ zeigt, welche Maßnahmen erforderlich sind, um eine eingetretene Störung zu beseitigen.

Nach dieser Darstellung wird die Zeitvarianz der Entstörung durch die „Zeit-Schädlichkeit-“ und „Zeit-Optimierungsmaßnahmen-Fläche“ beschrieben. Welche Maßnahmen und warum sie eingesetzt werden, zeigt die statische „Optimierungsmaßnahmen-Schädlichkeit-Fläche“.

Die negative Korrelation zwischen der Fristigkeit (Zeit) und der Schädlichkeit kann nicht übersehen werden. Je schädlicher eine Störung ist, umso dringender ist die Notwendigkeit, sie zu beseitigen, so daß auch die nach den Regelkreisen typischerweise langfristigen Prozesse zu kurzfristigen Prozessen umgewandelt werden.

Der in Abbildung 14 gekennzeichnete Bereich bildet für diese Arbeit den Betrachtungsbereich. Schwerwiegende Struktur-/Strategieänderungen sind langfristige Probleme, die überwiegend durch Strategie- und Strukturoptimierungen beseitigt werden können. Damit der identifizierte Bereich im Rahmen der Produktionsregelung beherrscht werden kann sind die bestehenden Maßnahmen um Inhalte der Struktur- und Strategieänderung zu erweitern. Hierbei steht einerseits eine effektive Ermittlung der notwendigen Maßnahmen zur Überführung des Systems in einen neuen Betriebszustand im Vordergrund. Andererseits müssen die so identifizierten Maßnahmen im Rahmen des ermittelten Migrationspfades (Reihenfolge der Maßnahmen) effizient umgesetzt werden.

3.7 Allgemeine Anforderungen zur Regelung zeitvarianter Systeme

Bei der Regelung im stationären Betrieb wird das Ziel verfolgt, den Fluß der Aufträge und damit des Materials so zu steuern, daß auch bei Störungen das Erreichen der logistischen Ziele gewährleistet ist. Wesentliches Kennzeichen dieser Regelung ist, ausgehend von *bestehenden Strukturen bzw. Strategien*, den Fließgrad des Produktionsprozesses zu verbessern.

In Erweiterung zur reinen Auftragsregelung sollen mit der Regelung zeitvarianter Systeme Struktur- bzw. Strategieänderungen berücksichtigt werden. Zur Einordnung der Problematik ist von zwei grundsätzlichen Betrachtungsweisen auszugehen:

- *Gewollte Änderung des Leistungsverhaltens*: Ausgehend von einer bekannten Strukturänderung (z.B. Umorganisation der Fertigung) bzw. einer bekannten Strategieänderung (z.B. KANBAN-Steuerung anstelle von BOA) sind Handlungsalternativen bereitzustellen, welche einen geregelten Übergang des Systems in den neuen Betriebszustand ermöglichen. Dem Anwender müssen dabei Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden, die es gewährleisten, den Übergangsprozeß transparent und damit planbar zu machen.
- *Ungewollte Änderung des Leistungsverhaltens*: Beim Auftreten von gravierenden Störungen (z.B. Ausfall einer Maschine) während der Auftragsbearbeitung sind geeignete Struktur- bzw. Strategieänderungen zur Behebung der Störsituation zu identifizieren. Primäres Vorgehen ist dabei, ausgehend von dieser Störsituation, schnellstmöglich eine „Notstrategie“ zu bestimmen, die einen fortlaufend stabilen und sicheren Betrieb des Produktionssystems gewährleistet. Anschließend erfolgt dann die Rückführung in den Normalzustand.

Zur Lösung dieses komplexen Problems ist, basierend auf den Struktur- bzw. Strategieänderungen, ein Planungs- und Regelungssystem zu entwerfen, das den geforderten Ansprüchen gerecht wird. Die Anforderungen an das Regelungssystem lassen sich anhand des zeitlichen Betrachtungshorizontes einteilen:

- *Langfristige Betrachtung*: Aufgrund der komplexen, nicht strukturierten Problemsituation sind dem Planer (z.B. Fabrikplaner) Hilfsmittel zur Verfügung zu stellen, die ihn einerseits bei verschiedenen Planungsschritten (Generierung von Maßnahmen) unterstützen und andererseits eine transparente Abschätzung von Auswirkungen der Alternativen möglich machen. Wegen der unterschiedlichen Möglichkeiten zur Erreichung des Soll-Zustands sind Beschreibungsmethoden notwendig, die eine Bewertung von verschiedenen Migrationsstrategien ermöglichen. Nach der Festlegung für eine Migration sind die möglichen Abweichungen bei der Umsetzung der Planungsvorgaben dem Planer transparent aufzubereiten.

- *Kurzfristige Betrachtung:* Zur Umsetzung der Planungsvorgaben sind viele unterschiedliche Arten von Führungsgrößen zu berücksichtigen. In Erweiterung zur stationären Regelung ergibt sich die zusätzliche Forderung, daß die Elemente nicht als zeitlich-konstant betrachtet werden können. Zur Verifizierung der Planungsvorgaben sind Methoden notwendig, die eine Beschreibung des Übergangs ermöglichen.

Bei der Berücksichtigung zeitlicher Aspekte können die durch Kennzahlen beschreibbaren Umstände in Zustände, Ergebnisse und Entwicklungen differenziert werden (SCHOTT 1991, SEITE 24) (siehe dazu Tabelle 3).

Größen, die Zustände beschreiben, werden als Strukturkennzahlen bezeichnet und sind Momentaufnahmen. Kennzahlen, die sich auf Ergebnisse beziehen, sind rein zeitraumabhängig. Was Entwicklungen bzw. Veränderungen betrifft, muß zwischen zeitpunktbezogenen, intervallbezogenen oder kontinuierlichen Kennzahlen unterschieden werden. Voraussetzung für die Richtigkeit der Aussage über zeitpunktbezogener Kennzahlen ist die richtige Wahl der zeitlichen Bezugsbasis, da diese die Darstellung der Ausprägung der betrachteten Entwicklung maßgeblich beeinflusst. Intervallbezogene Kennzahlen, die in periodischen Abständen ermittelt werden, sind stark davon beeinflusst, ob sie unmittelbar nach wirtschaftlichen Umbrüchen (Entwicklungsperioden, Währungsänderungen, etc.) ermittelt wurden. Kontinuierliche Kennzahlen beschreiben den Verlauf von Veränderungen bezogen auf Strukturen oder Ergebnisse und haben damit den Vorteil, daß der Einfluß des Zeitfaktors nivelliert wird.

Betrachtungsgegenstand				
Zustände	Bewegungen			
Zu einem Zeitpunkt <small>Wie groß war am ...?</small>	Ereignisse	Entwicklungen		
	Für einen Zeitraum <small>Wie groß war während ...?</small>	zeit- punkt- bezogen	inter- vallbe- zogen	kontinu- ierlich

Tabelle 3 – zeitabhängige Aspekte von Kennzahlen

Klassische Kennzahlensysteme beziehen sich nur auf die Abbildung statischer Systeme, d.h. es werden lediglich Momentaufnahmen der Ausprägungen der jeweiligen Betrachtungsgrößen gemacht.

Um dynamische Veränderungen einzelner Größen erkennen und verfolgen zu können, müssen Zeitreihenvergleiche der statischen KZS durchgeführt werden. Daraus erkennbare Abweichungen zwischen den Ausprägungen verschiedener Zeitpunkte können als Indikatoren von Entwicklungen oder Gefährdungssituationen herangezogen werden. Für

die zu beschreibende Problematik der Überführung eines Anlagenzustandes in einen bestimmten neuen Zustand muß ein Kennzahlensystem in der Lage sein

- Gefährdungssituationen frühzeitig zu erkennen (Frühwarnfunktion),
- notwendig gewordene Umplanungsmaßnahmen durch die Beschreibung verfügbarer Freiheitsgrade bzw. nicht beeinflussbarer Restriktionen zu unterstützen,
- nicht nur Veränderungen dokumentarisch und rückblickend festzuhalten, sondern auch Entwicklungen kontinuierlich zu beschreiben und
- die Qualität geplanter Maßnahmen durch die Ermittlung geeigneter Kenngrößen beurteilen zu helfen.

3.8 Anforderungen an das Regelungssystem

Die grundlegenden Aufgaben einer Regelung zeitvarianter Systeme können wie folgt den allgemeinen Aufgaben einer Produktionsregelung zugeordnet werden (BURGER 1991):

- *Situationsangepaßtes Planen.* Die Planung muß sich auf Daten stützen, welche die aktuelle Situation in der Fertigung und Montage ausreichend beschreiben. Hier werden vom *Planungssystem* die unterschiedlichen Arten von Führungsgrößen (log. Ziele, Maßnahmen, Anlaufkurven) den einzelnen Bereichsreglern bereitgestellt.
- *Optimiertes Veranlassen:* Beim Einlasten, Freigeben und Starten sind Optimierungspotentiale zu nutzen, welche sich aus dem aktuellen Fortschritt aller im Produktionssystem befindlichen Aufträge ergeben. Diese Aufgabe wird vorwiegend durch Bereichsregelkreise durchgeführt.
- *Permanentes Überwachen:* Die Überwachung schafft einen besseren Überblick und ermöglicht das schnelle und effektive Reagieren auf Störungen. Eine Ausregelung im operativen Bereich erfolgt in Abhängigkeit zur Störsituation. Bei schwerwiegenden Abweichungen sind erneute bzw. anzupassende Planungsschritte notwendig.
- *Zuverlässiges Sichern.* Das Sichern erfolgt über entsprechende korrigierende Eingriffe in den Produktionsprozeß. Größte Aufmerksamkeit ist dabei auf die Zuverlässigkeit des Sicherns bzw. auf die Erfolgsaussichten der Eingriffe zu legen.

Wesentliches Merkmal und Problem eines Produktionsregelkreises ist die Berücksichtigung von Totzeiten. Zur Bewältigung der Totzeitproblematik dient die betriebsbegleitende Simulation als „Prädiktor“ zur Prognose von Störungen und Abweichungen.

3.9 Zusammenfassung

Als wesentliches Fazit der Analyse des Standes der Technik sind folgende Hauptdefizite für die simulationsbasierte Regelung zeitvarianter Produktionssysteme zu nennen:

- keine durchgängige Planungsmethode, die zur Lösung des Umplanungsproblems für zeitvariante Produktionssysteme beiträgt, und
- kein Regelungsansatz für zeitvariante Produktionssysteme. Die bestehenden Ansätze zur Produktionsregelung sind weitgehend für den stationären Betrieb ausgelegt.

Die durchgeführte Analyse der bisher eingesetzten Methoden zur Produktionsregelung zeigt, daß in den untersuchten Themenkreisen zwar spezielle Lösungen für konkrete Problemfälle vorhanden sind, daß aber bislang nicht die erforderliche Berücksichtigung der Zeitvarianz stattgefunden hat. Hier überwiegen Ansätze im kurzfristigen Bereich, d.h. die reine Optimierung nach logistischen Zielgrößen. Diese orientieren sich hauptsächlich auf die Reduzierung der Durchlaufzeit bzw. die Reduzierung der Bestände im Fertigungsbereich.

Da in der Literatur jedoch keinerlei Hinweise auf oder Anregungen für die Problematik von zeitvarianten Systemen zu finden sind, ist der Anforderungskatalog der traditionellen PPS - Systeme hinsichtlich dieser Inhalte zu erweitern. Wissensbasierte Systeme können zur Auswahl von geeigneten Maßnahmen für klar definierte Störungen eingesetzt werden. Eine Anwendung solcher Systeme für einmalig aufgetretene Störungen ist jedoch nicht möglich. Aus den Arbeiten im Bereich der Produktionsregelung wird die Integration eines Simulationsmodells in den Produktionsregelkreis favorisiert. Dadurch ist eine Voraussimulation zur Bewältigung auftretender Totzeiten möglich. Durch die kontinuierliche Abbildung des realen Systemverhaltens wird eine "betriebsbegleitende" Simulation möglich. Als Konsequenz zu den Arbeiten des Störungsmanagements kann der Handlungsspielraum des Entstörmanagements für zeitvariante Produktionssysteme charakterisiert werden. Dieser Bereich bezieht sich auf langfristige Probleme, die überwiegend durch Methoden- und Strukturoptimierungen beseitigt werden können.

Auf Basis der Anforderungsanalysen und der sich daraus ergebenden Konsequenzen können in den folgenden Kapiteln der Handlungsbedarf abgeleitet und die Konzeption der Regelungs- und Planungsmethode vorgenommen werden.

4 Ableitung des Handlungsbedarfes

4.1 Ziel und Vorgehensweise

Die Ableitung des Handlungsbedarfes dient dazu, einerseits ein Grundverständnis für die Problematik zu vermitteln und andererseits die zu behandelnden Anforderungen für die *Regelung zeitvarianter Produktionssysteme* darzustellen. Zu Beginn wird der Begriff der Zeitvarianz beschrieben und eine Differenzierung zwischen „gewollten“ (geplant) und „ungewollten“ (Störungen) Änderungen vorgenommen. Zur Verdeutlichung erfolgt eine beispielhafte Darstellung von Änderungen bzw. Störungen in tabellarischer Form.

Damit der Planer (z.B. der Produktionsplaner) bei der Bestimmung der Maßnahmen und deren zeitlichen Abfolge bestmöglich unterstützt werden kann, werden grundlegende Anforderungen an eine geschlossene Planungsmethode dargestellt. Diese Anforderungen beziehen sich auf den Entwurf der Planungsmethode, auf die Visualisierung der Interdependenzen einzelner Maßnahmen sowie auf die Berücksichtigung von konfliktären Beziehungen von Zielkriterien. Abschließend ergeben sich Anforderungen hinsichtlich der Visualisierung des vorzunehmenden Übergangs von einem Betriebszustand zum nächsten.

4.2 Beschreibung der Zeitvarianz

Den Ausgangspunkt für eine Ableitung des Handlungsbedarfes, welcher sich aus einer Erweiterung einer Regelung für den stationären Betrieb, d.h. das Produktionssystem ist bei bestehender Struktur und Strategie eingeschwungen, hin zur Regelung von zeitvarianten Systemen ergeben, muß eine genaue Beschreibung des zeitveränderlichen Verhaltens des Produktionssystems bzw. seines Umfeldes bilden.

Eine stark vereinfachende Systematisierung differenziert in

- *gewollte Änderungen (geplant)*, damit sind alle beabsichtigten Veränderungen hinsichtlich des Produktionsprogrammes, der Produktionsstruktur oder der Steuerungsstrategien gemeint, und
- *ungewollte Änderungen (nicht geplant)*, hierunter fallen alle organisatorischen, logistischen bzw. technischen Störungen, welche die geplante Abwicklung des Produktionsvorhabens verhindern bzw. verzögern.

Grundsätzlich unterschiedlich sind die verfügbaren Reaktionszeiten für diese beiden Fälle. Während bei „gewollten Änderungen“ abgesehen vom vorgegebenen Zeitrahmen, für die Durchführung der Änderung kein unmittelbarer Zeitdruck besteht,– für eine fundierte Auswahl geeigneter Maßnahmen im Vorfeld also in der Regel ausreichend Zeit bleibt,– stellt der Fall der „ungewollten Änderungen“ den zeitkritischen dar. Hier steht nicht die Gewährleistung der logistischen Ziele im Vordergrund, sondern eine schnelle

Reaktion im Sinne einer Schadensbegrenzung und der Rückführung des Systems in den normalen Betriebszustand.

Um eine geschlossene Planungsmethode aufbauen zu können, muß für beide Fälle eine genauere Systematisierung möglicher Veränderungen vorgenommen werden (siehe Tabelle 4). Diese bildet die Basis für die Erarbeitung eines Kataloges von Handlungsempfehlungen bzw. geeigneten Maßnahmen. Konkrete Maßnahmenkataloge sind in hohem Maße auf die besonderen Umstände, die mit einer spezifischen Störung oder Änderung einhergehen, abgestimmt.

Gewollte Änderungen	
Produktionsstruktur	<input type="checkbox"/> Änderung vom Organisationstyp der Fertigung / Montage <input type="checkbox"/> Änderung der Arbeitsmittel (Maschinen, Werkzeuge, ...) <input type="checkbox"/> Integration neuer Arbeitsmittel <input type="checkbox"/> Stilllegung alter Arbeitsmittel <input type="checkbox"/> Layoutänderungen <input type="checkbox"/>
Produktionsprogramm	<input type="checkbox"/> Einstellung der Produktion alter Produkte <input type="checkbox"/> Aufnahme neuer Produkte in das Programm <input type="checkbox"/> Bildung neuer Produktvarianten <input type="checkbox"/>
Technologie	<input type="checkbox"/> Einführung neuer Fertigungstechnologien <input type="checkbox"/> Änderung der Prozeßtechnologie <input type="checkbox"/>
Steuerungsstrategie	<input type="checkbox"/> Veranlassungslogik <input type="checkbox"/> Beschaffungsstrategie <input type="checkbox"/> Instandhaltungsstrategie <input type="checkbox"/> Distributionsstrategie <input type="checkbox"/>
Zielgewichtung	<input type="checkbox"/> Änderung der Bedeutung / Einflußstärke eines logistischen Zielkriteriums innerhalb der Zielfunktion (Durchlaufzeit, Bestände, Termintreue, Kapazität) <input type="checkbox"/>
Ungewollte Änderungen - Störungen	
Organisatorische Fehler	<input type="checkbox"/> Prognosefehler <input type="checkbox"/> Dispositionsfehler <input type="checkbox"/> Fehler in Planungsunterlagen Arbeitspläne, Stücklisten, Konstruktionszeichnungen,.... <input type="checkbox"/>
Technische Störungen	<input type="checkbox"/> Arbeitssysteme Ausfälle, Verhalten in Anlaufphase <input type="checkbox"/> Transportsystem Ausfälle <input type="checkbox"/> Bedienpersonal Abwesenheit, mangelnde Qualifikation / Anlernphase <input type="checkbox"/> Material Ausschuß <input type="checkbox"/> Meldeeinrichtungen Ausfall automatischer Aufnehmer <input type="checkbox"/>
Logistische Störungen	<input type="checkbox"/> Material Fehlteile, falsche Teile <input type="checkbox"/> Lieferverzögerung eines Lieferanten <input type="checkbox"/> Fehler Kontrolle / Datenaufnahme Versäumnis manueller Aufnahme <input type="checkbox"/>

Tabelle 4: Systematisierung zeitvarianter Vorgänge

Je nachdem, innerhalb welchen Bereiches eine Änderung – ob gewollt oder ungewollt – eingeordnet werden kann, ergeben sich andere Einflüsse auf das Produktionssystem. Gelingt es, die exakten Einflußbereiche dieser unterschiedlichen Änderungen zu ermitteln, lassen sich aus der Kenntnis der Konsequenzen erste Maßnahmen nennen, die geeignet sind, die Auswirkungen zu mildern oder gar zu kompensieren.

4.3 Beschreibung der Anforderungen zur Unterstützung des Planers

4.3.1 Entwurf einer geschlossenen Planungsmethode

Voraussetzung für jede Planungsmethode ist die Klarheit über die anzustrebenden Ziele. Die dazu herangezogenen Ziel- oder Regelgrößen müssen hinsichtlich ihres Inhaltes (Größe / Richtung), Ausmaßes (Zielpunkt / Toleranzbereich) und Zeitbezuges (Zeitpunkt vs. Zeitraum) klar definiert sein.

Im Rahmen einer Migration von einem Betriebszustand eines Produktionssystems in einen neuen werden nicht nur die primären logistischen Zielgrößen beeinflusst, auch zahlreiche andere Größen sind Veränderungen unterworfen.² Je genauer diese Größen und ihre Zusammenhänge bekannt sind, desto leichter ist es, der Forderung nach einem geregelten und überwachten Übergang gerecht zu werden.

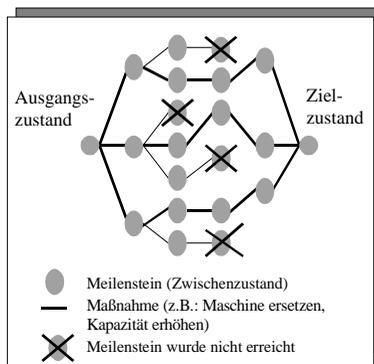


Abbildung 15: Beschreibung der Migrationsstrategie

² Dies sind beispielsweise Wartedauer bzw. Übergangszeiten, Verfügbarkeiten, Ausstoßmengen, Qualitätsmerkmale der gefertigten Teile usw.

Die Migrationsstrategie setzt sich aus einzelnen Maßnahmen zusammen, wie z.B. Maschine ersetzen, Lager integrieren oder die Steuerungsstrategie ändern. Der Übergang von einer Maßnahme zur anderen wird durch einen Meilenstein beschrieben. So wird es durch die Vorgabe von Meilensteinen (vgl. Abbildung 15), also Zwischenzielen für diskrete Zeitpunkte zwischen dem Start des Überganges und dem Erreichen des neuen Betriebszustandes, möglich, etwaige Abweichungen frühzeitig zu erkennen und diese durch eine Adaption der vorgesehenen Übergangsstrategie zu korrigieren.

Um das Erreichen solcher Meilensteine überwachen zu können, müssen diese im meßtechnischen Sinn quantifizierbar sein, d.h. die Möglichkeit einer exakten Charakterisierung des Betriebszustandes eines Produktionssystems ist Voraussetzung für dessen Regelung und Überwachung. Für die Identifikation von Meilensteinen gilt es also ein Beschreibungskonzept zu entwickeln, anhand dessen Zustände eindeutig meßbar sind. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, ist die Bildung eines deskriptiven Kennzahlensystems (KZS). Der Schwerpunkt geeigneter Kennzahlen wird sicherlich bei der Beschreibung des Zustandes der Produktion, also der einzelnen Arbeits- und Transportsysteme, der Mitarbeiter usw. liegen. Darüber hinaus dürfen jedoch auch monetäre Größen nicht vernachlässigt werden, denn ein wesentliches Bewertungskriterium stellen die eigentlichen Migrationskosten dar.

Die Auswahl eines geeigneten Migrationspfades stellt sich als Entscheidung zwischen mehreren möglichen Alternativen dar (vgl. Abbildung 15). Um die Qualität der Auswahlentscheidung zu erhöhen, sind geeignete Werkzeuge zur Beurteilung bzw. Bewertung der Alternativen zur Verfügung zu stellen. Basis einer solchen Bewertung könnte die Simulation bilden, welche eine Beschreibung der jeweiligen Zwischenzustände zuläßt. Weiterhin sind Meldungen bei Erreichen der Meilensteine zu initiieren, um dann die kritischen Beobachtungsparameter für den nächsten Meilenstein anzupassen. Auf diesem Wege gelingt eine kontinuierliche Beobachtung und Bewertung der zeitvarianten Abläufe.

4.3.2 Visualisierung der Interdependenzen einzelner Maßnahmen

Eine Steigerung der Transparenz des Planungs- und Migrationsprozesses kann in einem ersten Schritt durch eine systematische Beschreibung aller Veränderungen einzelner Merkmale des bereits erwähnten KZS erzielt werden. Aufgrund zahlreicher, mit konventionellen Methoden nicht eindeutig bestimmbarer Wechselwirkungen zwischen den Stellgrößen wird für eine genauere Quantifizierung der Wirkungen diverser Maßnahmen der Einsatz von Simulationsmodellen erforderlich.

4.3.3 Berücksichtigung der konfliktären Beziehungen der Zielkriterien

Da die primären logistischen Zielgrößen (Durchlaufzeit, Bestand, Termintreue, Auslastung) konkurrierender Natur sind, müssen Hilfsmittel bereitgestellt werden, mit denen die Interdependenzen der Änderung einer Größe auf die anderen klar werden. Wegen

der Komplexität der Zusammenhänge wird dabei vor allem der Einsatz von Simulationsmodellen zu favorisieren sein, was die Bildung konsistenter Zielsysteme stark erleichtert.

4.3.4 Visualisierung relevanter Größen bei einem Übergang von einem Betriebszustand zum nächsten

Je nach zeitlicher Stellung eines Meilensteines im Migrationspfad können unterschiedliche Teilziele verfolgt werden. Neben der eigentlichen Meßbarkeit des Erreichens einzelner Meilensteine gilt es daher, auch die interessierenden Veränderungen beim Übergang auf einen neuen Meilenstein zu visualisieren (vgl. Abbildung 15).

4.4 Zusammenfassung

Die identifizierten Anforderungen für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme bilden die Ausgangsbasis für die nachfolgenden Kapitel. Anhand der Ergebnisse aus dem Stand der Technik werden diese zusätzlichen Anforderungen an die Regelung zeitvarianter Systeme abgeleitet. Zusammenfassend sind die wesentlichen Anforderungen für zeitvariante Systeme in Abbildung 16 dargestellt.



Abbildung 16: Allgemeine Anforderungen an die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme

5 Konzeption für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme

5.1 Ziel und Vorgehensweise

Die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme wird charakterisiert durch die Betrachtung unterschiedlicher zeitlicher Restriktionen, d.h. sowohl kurzfristige bzw. langfristige Gesichtspunkte müssen berücksichtigt werden. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, werden die Verfahren der *vermaschten Regelkreise* besprochen. Dabei wird einleitend eine Analogie zwischen der traditionellen Regelung und der Produktionsregelung für zeitvariante Produktionssysteme dargestellt. Von wesentlicher Bedeutung für die Produktionsregelung ist die Integration der Ablaufsimulation. Dazu wird eine vorausschauende Reglerstruktur entworfen, in welche die Ablaufsimulation sowohl planungsbegleitend, als auch betriebsbegleitend eingesetzt wird. Während die Regelungsgrößen als Zielvorgaben für die Produktionsregelung dienen, sind die Stellgrößen diejenigen Parameter, deren Veränderung eine gezielte Einflußnahme auf die Zielkriterien erlaubt. Zur Ermittlung dieser Stellgrößen für zeitvariante Produktionssysteme wird eine *Methodentoolbox* vorgestellt.

5.2 Problemstellung und Anforderungen an die Regelung

Ausgangspunkt ist die Notwendigkeit einer größeren Änderung oder Umstrukturierung eines Produktionssystems. Diese Notwendigkeit kann sich z.B. aus einem Anlauf einer neuen Produktserie ergeben, zum anderen aus einer schwerwiegenden Störung mit erheblichen Folgen, z.B. Ausfall mehrerer Engpaßmaschinen. Für solche Fälle muß das betrachtete Produktionssystem ausgehend von einem Anfangszustand in einen davon erheblich abweichenden Zielzustand überführt werden. Die Überführung wird im folgenden Migration genannt; der dabei gewählte "Weg" heißt Migrationspfad. Er ist durch charakteristische Daten gekennzeichnet, die das Produktionssystem während der Migration aufweist.

Eine Migration muß im allgemeinen folgende Anforderungen erfüllen: Sie muß *optimal*, *stabil* und *robust* erfolgen. Die Bedeutung dieser drei Eigenschaften wird im folgenden kurz erklärt. Die *Optimalität* ist im Sinne eines geeigneten zu wählenden Gütekriteriums zu verstehen, wobei die betriebswirtschaftlichen Kosten (vgl. Kapitel 7) und die logistischen Zielgrößen (Bestand, Kapazität etc.) berücksichtigt werden. Dieses Gütekriterium gibt die übergeordneten Ziele vor, welche durch den Migrationsprozeß eingehalten werden müssen. *Stabilität* bedeutet, daß eine geringfügige Änderung des Ausgangszustandes auch nur eine geringe Abweichung vom Migrationspfad bewirkt. Die Forderung, daß die Migrationsstrategie *robust* ist, heißt, daß Störeinflüsse höchstens kleine Abweichungen vom geplanten Migrationspfad bewirken.

5.3 Zu regelnde Systeme und charakteristische Eigenschaften

Sowohl physikalische Systeme, die im allgemeinen Gegenstand der "klassischen" Regelungstechnik sind, als auch Produktionssysteme sind in vielerlei Hinsicht verschiedene Systeme und besitzen unterschiedliche charakteristische Merkmale. Auf diese charakteristischen Merkmale wird im folgenden näher eingegangen.

5.3.1 Modellbildung in der klassischen Regelungstechnik

In der klassischen Regelungstechnik hat man es meist mit rein physikalischen Systemen zu tun. Dementsprechend erfolgt die Modellbildung auf rein physikalischer Basis (FÖLLINGER 1990) oder mit Hilfe einer sogenannten Systemidentifikation (KLEYMAN 1994, LJUNG 1987). Die Anzahl der Größen, die den Zustand des Systems eindeutig charakterisieren, die sogenannten Zustandsgrößen, ist in der Regel kleiner als zehn. Das Modell wird in Form von Differential- und Differenzgleichungen, Blockdiagrammen, für lineare Systeme auch in Form von Übertragungsfunktionen formuliert (FÖLLINGER 1990, SONTAG 1990).

5.3.2 Modellbildung von Produktionssystemen

Ein typisches Produktionssystem besteht aus einer hochkomplexen Zusammenwirkung von Menschen und Maschinen; eine Modellbildung ist daher nicht auf rein physikalischer Basis möglich, sondern erfolgt üblicherweise unter Ausnutzung logistischer Zusammenhänge (MERTINS ET AL. 1994). Weiterhin liegen einem bestehendem Produktionsprozeß gewisse charakteristische Prozeßdaten zugrunde, die mit geeigneten Methoden erfaßt werden müssen (REINHART & HEITMANN 1997). Die Anzahl der Zustandsgrößen ist in der Regel erheblich höher und liegt üblicherweise zwischen 100 und 10000 je nach Abstraktionsgrad. Das Modell des Produktionssystems ist meist in kleinere Einheiten aufgegliedert; im Minimalfall besteht eine Einheit aus einer einzelnen Maschine. Diese Einheiten lassen sich z. B. mit Hilfe von Betriebskennlinien, Regressionsmodellen, Warteschlangen oder diskreten Modellen beschreiben (REINHART & LULAY 1998). Die logistischen Abläufe zwischen diesen Einheiten werden im Modell z.B. mit Hilfe von Entscheidungstabellen, der Structured Analysis & Design Technique, Flußdiagrammen oder Petri-Netzen formuliert.

Wie bereits erwähnt wurde, werden in der klassischen Regelungstechnik meist physikalische Systeme betrachtet; diese Systeme sind häufig auf einen abgegrenzten räumlichen Bereich konzentriert. Im weiteren kann der Regler das System ohne zeitlichen Verzug oder mit nur einem sehr geringen ansprechen, so daß der Einsatz eines einzigen "zentralen Reglers" zumeist die günstigste Alternative darstellt.

Dagegen besteht ein Produktionssystem in der Regel aus mehreren, in einem gewissen Sinn selbständigen Teilbereichen, deren Zusammenwirken von einem Koordinator gesteuert wird.

Es bietet sich in diesem Fall an, die Bereiche einzeln in dezentraler Weise zu regeln; die einzelnen dezentralen Regler werden über den übergeordneten Koordinator abgestimmt. Dadurch wird eine schnelle Reaktion auf kleinere Störeinflüsse innerhalb eines Bereiches ermöglicht (REINHART 1997), und außerdem ist ein zuverlässiger Betrieb auch dann sichergestellt, wenn die Verbindung zwischen Koordinator und Teilbereichen kurzfristig unterbrochen ist und daher keine Information ausgetauscht werden kann (SILJAK 1991).

Um derartige dezentrale Regler einsetzen zu können, sind jedoch verschiedene Voraussetzungen nötig: Erstens muß sichergestellt sein, daß der Bereichsregler schnell genug ist in dem Sinne, daß er um ein gewisses Maß schneller sein muß als die übergeordnete Regelung durch den Koordinator (siehe z.B. SILJAK 1991). Ein zweiter wichtiger Punkt ist die Kooperation zwischen den Bereichen und dem Koordinator: Ein einzelner Bereich versucht in der Regel, die Abläufe im eigenen Bereich im Sinne bereichseigener Ziele zu optimieren. Dieses Optimum für den einzelnen Bereich ist jedoch nicht unbedingt kompatibel mit einer optimalen Strategie für das Gesamtsystem. Eine derartige Kompatibilität muß jedoch sichergestellt sein, um eine einwandfreie Funktion der dezentralen Regelung gewährleisten zu können.

In den nächsten zwei Abschnitten wird einerseits in Analogie zur traditionellen Bahnplanung in der klassischen Regelungstechnik die Planung des Migrationspfades für Produktionssysteme abgeleitet und andererseits eine Reglerstruktur konzipiert, welche den zuvor formulierten Voraussetzungen gerecht wird.

5.4 Bahnplanung und Planung des Migrationspfades

Die Bahnplanung beweglicher, zu steuernder Objekte und die Planung des Migrationspfades eines Produktionssystems weisen bezüglich der Problemstellung und der Methodik zur Ermittlung einer Lösung viele Gemeinsamkeiten auf. Daher werden in den folgenden zwei Abschnitten diese beiden Themen analog zueinander behandelt.

5.4.1 Bahnplanung in der klassischen Regelungstechnik

Die Planung bzw. Berechnung von Bahnen oder Wegen, die ein zu steuerndes oder zu regelndes System zurücklegen soll, ist eine bekannte Fragestellung innerhalb der Regelungstechnik. Typische Beispiele hierfür sind die Berechnung der Flugbahn einer Rakete oder die Bahn eines Roboterarmes. Üblicherweise sind Anfangs- und Zielpunkt durch die zugrundeliegende Aufgabenstellung fest vorgegeben, und die dazwischenliegenden Werte sollen ermittelt werden. Neben Bahnen im dreidimensionalen Raum sind auch Bahnen in höherdimensionalen, abstrakten, sogenannten Zustandsräumen möglich, die sich aus physikalischen Größen wie z. B. Geschwindigkeit, Drehwinkel oder Winkelgeschwindigkeit zusammensetzen.

Eine weit verbreitete Vorgehensweise zur Bestimmung einer derartigen Bahn ist die *Optimale Regelung* (BULIRSCH & KRAFT 1994, BRYSON & HO 1969, FLEMING & RISHEL 1975). Die Vorgehensweise ist dabei wie folgt: Zunächst wird ein geeignetes Gütekriterium bzw. Gütefunktional festgelegt. Je nachdem, ob der Berechnung eine kontinuierliche Zeitachse oder diskrete Zeitpunkte zugrunde gelegt wird, besteht das Gütefunktional aus einem gewichteten Integral oder einer gewichteten Summe geeignet zu wählender zeitabhängiger Größen, wobei über das gesamte Zeitintervall aufintegriert bzw. -summiert wird. Üblicherweise wird in diesem Integral bzw. der Summe zum einem der energetische Aufwand, zum anderen der zeitliche Aufwand bewertet. Dementsprechend ist dann auch der Zeitpunkt, zu dem der Zielpunkt erreicht wird, nicht von vorneherein vorgegeben, sondern ist das Ergebnis des Optimierungsvorganges, auf den weiter unten noch eingegangen wird.

Darüberhinaus müssen geeignete Nebenbedingungen in Form von Restriktionen bestimmt werden, die während des Durchlaufens der Bahn einzuhalten sind, wie z. B. mechanische Anschläge oder maximal zulässige Beschleunigungen von Antriebsaggregaten.

Das Gütefunktional wird nun unter Beachtung der Nebenbedingungen optimiert, wobei hierfür leistungsfähige numerische Verfahren zur Verfügung stehen. Übliche Vorgehensweisen sind einerseits die sogenannten indirekten Methoden, die auf dem Maximumprinzip (BRYSON & HO 1969, FLEMING & RISHEL 1975) und den Mehrziel-Schießverfahren aufbauen (STOER & BULIRSCH 1993), andererseits die direkten Optimierungsmethoden, die häufig mit der Sequentiellen Quadratischen Programmierung arbeiten (GRACE 1992). Die genaue Darstellung dieser beiden Methoden erfordert einen gewissen mathematischen Begriffsapparat; es wird an dieser Stelle auf die einschlägige Literatur verwiesen.

Die durch Optimierung des Gütefunktionals ermittelten Lösungen haben zuweilen den Nachteil der mangelnden Robustheit, das heißt kleinere Störungen oder Ungenauigkeiten im Modell des zu steuernden Systems führen zu erheblichen Abweichungen von der gewünschten Bahn. Dieser Nachteil kann durch eine sogenannte Minimax-Optimierung ausgeglichen werden. Dabei wird das Simulationsmodell mit gewissen Störungen und Modellungenauigkeiten beaufschlagt und sodann die maximalen Werte des Gütefunktionals optimiert (minimiert), die bei der ungünstigsten Störungskombination auftreten können (BRYSON & HO 1969, BULIRSCH & KRAFT 1994, GRACE 1992).

5.4.2 Planung des Migrationspfades

Analog zur Bahnplanung in der klassischen Regelungstechnik stellt sich die Planung eines Migrationspfades eines Produktionssystems dar. Auch hier sind Anfangs- und Zielzustand bekannt: Bei einem Serienanlauf liegt der Anfangszustand bei „Null“ und der Zielzustand ist der gewünschte Prozeß, der nach dem Anlauf stabil laufen muß; im Falle einer schwerwiegenden Störung ist der Anfangszustand der momentane Zustand, der sich nach der Störung einstellt, und das Ziel ist der Zustand, wie er vor Eintreten der

Störung vorgelegen hat. Unter Vorgabe derartiger Anfangs- und Zielzustände soll nun diskutiert werden, wie ein geeigneter Migrationspfad bestimmt werden kann.

Wie auch im letzten Abschnitt wird zunächst ein geeignetes Gütekriterium bzw. Gütefunktional aufgestellt. Als Gütekriterien für einen Migrationspfad kommen betriebswirtschaftliche Zielgrößen (die sich aus dem Controlling ergebenden Kosten; siehe MÖßMER & REINHART 1999) sowie logistische Zielgrößen, auch technisch-organisatorische Zielgrößen genannt, wie z. B. Auslastung, Bestände oder Durchlaufzeit in Frage (BURGER 1991, ZETLMAYER 1994). Diese Zielgrößen werden nun in geeigneter Weise gegeneinander gewichtet und zu einem Gesamt-Gütefunktional aufsummiert. Des weiteren müssen während der Migration gewisse Restriktionen eingehalten werden. Diese Restriktionen ergeben sich z. B. aus der maximalen Auslastung von Maschinen, aus dem Personalangebot und der Qualifikation sowie aus baulichen Randbedingungen (vgl. Abschnitt 6.6.4).

Nun soll das oben genannte Gütefunktional (Gütekriterium) unter Einhaltung der Restriktionen optimiert werden. Dies kann entweder heuristisch oder aber streng mathematisch erfolgen. Die heuristischen Verfahren sind vor allem bei sehr komplexen Aufgabenstellungen von Nutzen, wenn keine genügend effizienten mathematischen Algorithmen existieren oder wenn diese Algorithmen beim Anwender eine unverhältnismäßig hohe Anforderung an spezieller mathematischer Vorbildung stellen.

Falls jedoch an dieser Stelle ein streng mathematischer Optimierungsalgorithmus eingesetzt werden kann, sollte dabei besonders die Dynamische Programmierung (auch Dynamische Optimierung genannt, vgl. GROSCHE ET AL. 1995) mit in Erwägung gezogen werden. Die dynamische Programmierung läßt sich durch das Bellmansche Optimalprinzip charakterisieren (Grosche et al. 1995): Eine optimale Entscheidungspolitik hat die Eigenschaft, daß für einen beliebigen Anfangszustand und eine beliebige (eventuell nicht optimale) Anfangsentscheidung die übrigen Entscheidungsfunktionen eine optimale Politik bilden bezüglich des Zustandes, der sich aus dieser Anfangsentscheidung ergibt. Ausgehend vom Zielzustand kann rückwärts für jeden Zustand die optimale Entscheidung bestimmt werden. Dies soll an folgendem Beispiel demonstriert werden (Grosche et al. 1995): Es besteht die Aufgabe, im Straßennetz von Abbildung 17 von A nach B zu gelangen. Ausgehend von Punkt B wird für jede Straßenkreuzung die optimale Abfahrtsrichtung bestimmt (durch Pfeile in Abbildung 17 gekennzeichnet). Damit ist für jede beliebige Kreuzung die Frage beantwortet, wie man schnellstmöglich nach B kommt und man erhält auch eine Lösung bei Störungen der Zustände, z.B. bei erzwungenen Umleitungen. Der Vorteil der Bestimmung des Migrationspfades über die Dynamische Programmierung besteht darin, daß die Migrationspfade als Rückkopplung dargestellt werden. Damit ist insbesondere gewährleistet, daß das System während des Migrationsvorgangs im Sinne von Abschnitt 5.2 stabil ist. Außerdem ist damit sichergestellt, daß auch bei Störung der Zustände, die zu größeren Abweichungen vom geplanten Migrationspfad führen, die Migration in optimaler Weise fortgesetzt wird.

zung zur Folge (in Abbildung 19 wird sogar eine Verbesserung erreicht); d. h. die geforderte *Robustheit* wird gewährleistet.

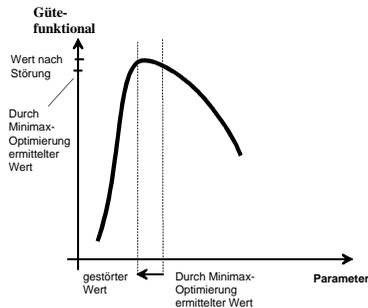


Abbildung 19: Minimax- Optimierung zum Störungsausgleich

Anhand eines Vergleiches zwischen "klassischer" Regelungstechnik und der Regelung von Produktionssystemen wurde die bestehende Situation analysiert und mögliche Lösungsansätze aufgezeigt. Neben der Planung der Bahn muß auch sichergestellt sein, daß das reale System während des Durchlaufens auch auf dieser Bahn bleibt, das heißt, kleine Differenzen müssen sofort ausgeregelt werden. Analog dazu muß auch dafür gesorgt werden, daß das Produktionssystem beim Durchlaufen des Migrationspfades diesen auch einhält, wobei kleine Abweichungen davon mit geeigneten Maßnahmen ausgeregelt werden müssen.

Insbesondere ist es möglich, unter geeigneten Umständen den Migrationspfad durch Optimierung von Gütekriterien systematisch zu entwerfen und robust gegenüber Modellungenauigkeiten und Störungen zu gestalten. Durch die hier vorgestellten Methoden wird ein geregelter Betrieb von Produktionssystemen auch für den Fall sichergestellt, daß die Produktion starken marktbedingten Schwankungen oder schwerwiegenden Störungen unterliegt. Die Umsetzung dieses neuen Potentials wird in den nachfolgenden Abschnitten genauer beschrieben.

5.5 Ableitung der Reglerstruktur

Zur Ableitung einer geeigneten Reglerstruktur wird das Konzept der vermaschten Regelkreise besprochen. Der Ansatz des "kasadierten" Reglers ergibt sich aus den zuvor in Abschnitt 5.3.2 ermittelten Anforderungen. Zuerst werden bestehende Regelungsansätze dargestellt, welche schließlich um die speziellen Anforderungen für die zeitvarianten Produktionssysteme erweitert werden.

5.5.1 Konzept vermaschter Regelkreise

Nach HACKSTEIN 1989, SEITE 50 ergibt sich die Produktionsregelung als Erweiterung der Produktionsplanung und –steuerung (PPS) durch die Rückkopplung von Informationen aus dem laufenden Produktionsprozeß und der Berücksichtigung der Daten über den aktuellen Produktionsfortschritt. Damit wird ein geschlossener Wirkungskreislauf realisiert, in dem die zu regelnde Ausgangsgröße sich selbst kontinuierlich beeinflusst. Im Unterschied zur Produktionsplanung und –steuerung, die eher zukunftsorientiert ist, wird bei der Regelung eine mit den Änderungen im Produktionsumfeld schritthaltende Planung vorgenommen. Als weitere Kennzeichen werden die integrierte Störungsbehandlung und Zielwertvorgabe genannt (ZETLMAYER 1994, SEITE 21).

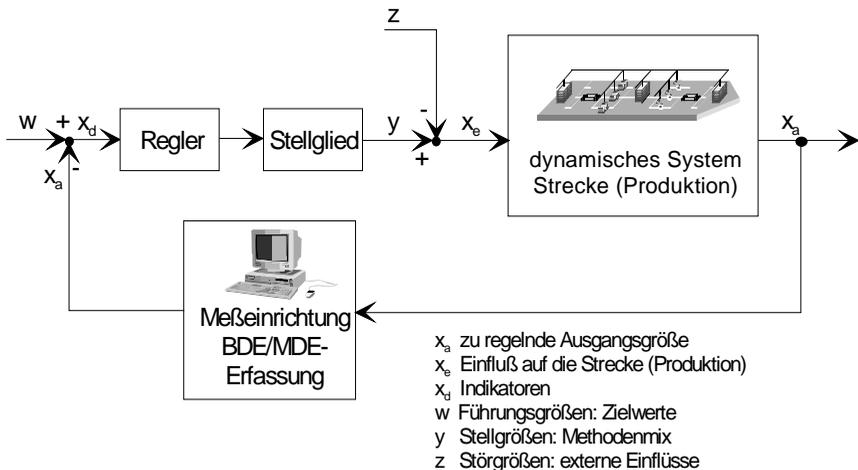


Abbildung 20: Grobkonzept der Produktionsregelung (nach Hackstein 1989)

Grundvoraussetzung für den Aufbau eines Regelungskonzeptes bildet die Identifizierung aller Führungs- und Regelungsgrößen, welche das System klar determinieren.

Das Grobkonzept eines Produktionsregelkreises ist in Abbildung 20 zu sehen.

Führungsgröße der Produktionsregelung stellt – abstrakt formuliert – die Soll-Zielerreichung dar (WIENDHAL 1993 B, GRIFFEL 1998), also die Einhaltung der vorgesehenen Durchlaufzeiten und Termintreue usw. Die Systemlast ergibt sich aus dem zeitveränderlichen Produktionsprogramm. Die Aufgabe der Rückkopplung übernimmt in den PPS-Systemen die Betriebsdaten- bzw. Maschinendatenerfassung (BDE, MDE). Allerdings sind diese Informationen allein für eine Regelung ungenügend, so daß auch Daten über Aufträge, Arbeitsplatzcharakteristika und Informationen aus dem aktuellen

träge, Arbeitsplatzcharakteristika und Informationen aus dem aktuellen Maschinenbelegungsplan herangezogen werden müssen. Diese Informationen lassen sich aus der Datenbank der Grunddatenverwaltung extrahieren. Ziel der Regelung ist die Kompensation von auftretenden Störungen. Dies können Störungen im eigentlichen Sinn sein – der Ausfall eines Arbeitssystems etwa – oder Änderungen des Betriebszustandes, d.h. das Systemverhalten des Arbeits- bzw. Produktionssystem ändert sich grundlegend. Diese können durchaus im regelungstechnischen Sinn als Störungen bezeichnet werden, da sie einen regelnden Eingriff erforderlich machen. Zur Störungsbeherrschung sind prinzipiell zwei unterschiedliche Vorgehensweisen denkbar. Zum einen können Störungen reaktiv behoben, also kompensiert werden, zum anderen sind präventive Maßnahmen, wie z.B. das Vorsehen von Flexibilitätsreserven, die Erarbeitung ausgeklügelter Wartungsmethoden usw. denkbar.

Im Zuge der Beschreibung von zeitveränderlichen Produktionssystemen müssen sowohl reaktive als auch präventive Maßnahmen betrachtet werden.

Grundsätzlich unterschiedlich ist dabei der betrachtete Zeithorizont. Während eine reine Störungskompensation kurzfristige Maßnahmen erfordert, werden präventive Maßnahmen tendentiell langfristig angelegt sein. Aufgrund der Überführung des Produktionssystem von einem Betriebszustand in einen anderen müssen zuerst die Maßnahmen (vgl. Abschnitt 6.6.4) zur Überführung des Systems bestimmt werden. Im Rahmen der anschließenden Umsetzung dieser Maßnahmen erfolgt ein ständiges Controlling auf Einhaltung der Planungsziele, welche tendenziell kurzfristiger Natur sind.

Um diesem Umstand innerhalb des Regelungsmodells Rechnung zu tragen, ist eine vermaschte³ Konzeption vorzusehen. Der äußere Regelkreis ist damit für die langfristige Anpassung der Planungskonzepte und –methoden zuständig, der innere Regelkreis zeichnet für die kurzfristig orientierte Störungsbehebung verantwortlich. Im Falle einer Werkstattfertigung spricht man auch von einer Maschinenbelegungsregelung (ZETLMAYER 1994, SEITE 35), wobei die Werkstattsteuerung das Durchsetzungsinstrument der Produktionsregelung darstellt.

Die zunehmende Tendenz der Dezentralisierung von Entscheidungen gilt es ebenfalls zu berücksichtigen. Während konventionelle Systeme der Produktionsleittechnik zentral organisiert sind (reaktionsträge und starr) und damit die in der betrieblichen Praxis vorzufindenden dezentralen Entscheidungsstrukturen unberücksichtigt lassen, muß ein modernes Regelungskonzept eine räumlich verteilte Optimierung von Teilbereichen unterstützen.

³ nach Heinen 1991, Seite 61, sind zwei Regelkreise vermascht, wenn die Stellgröße des einen Regelkreises gleichzeitig die Führungsgröße des zweiten Regelkreises bildet, der Regler des ersten Kreises also die Führungsgröße des zweiten beeinflusst. Andere Autoren bezeichnen diesen Ansatz auch als kaskadierte Regelkreise, so z.B. Zetlmayer 1991.

Dies gelingt durch einen hierarchischen bzw. kaskadierten Regler, der für unterschiedliche Ebenen bzw. Bereiche eigenständige Bereichs-Regler zur Verfügung stellt. Die betriebsinterne Durchsetzung gelingt durch den Aufbau von vernetzten dezentralen Leitständen.

Verschiedene Autoren (LEHMANN 1992, ZETLMAYER 1994, SIMON 1995) sehen als eines der Hauptprobleme bei der Produktionsregelung die Bewältigung von auftretenden Übertragungs- bzw. Totzeiten an. Diese ergeben sich aus den zur Reaktion auf Störungen notwendigen Zeiten und den Totzeiten der Regelstrecke selbst.

Zur Verbesserung der Regelungsgüte sind sowohl die systemimmanenten als auch die organisatorisch bedingten Totzeiten zu berücksichtigen. Letztere, also die Reaktionszeiten bei der Maßnahmenfindung, lassen sich durch Verbesserung der methodischen Konzepte, z.B. durch die Erarbeitung von Störungskatalogen und geeignete Maßnahmen zur Behebung, verkürzen.

Aufgrund der unterschiedlichen Betrachtungszeiträume bei der Regelung zeitvarianter Produktionssysteme (langfristig: präventiv; kurzfristig: reaktiv;) muß zu den oben angegebenen Totzeiten zusätzlich noch die Zeit für die Entscheidungsfindung für Umplanungen vor Ort bzw. Neuplanung (Änderung der Maßnahmen) berücksichtigt werden.

Eine rein regelungstechnische Handhabung des Prozesses bereitet aufgrund ihrer Charakteristika (diskret, ereignisorientiert, stochastisch, stark nichtlinear) und wegen der fehlenden geschlossenen-analytischen Ansätze zur Aufstellung eines Regelgesetzes Probleme (ZETLMAYER 1994, SEITE 42).

ZETLMAYER schlägt in Anlehnung an das in der Regelungstechnik angewandte Prinzip der prädiktiven Regelung die Integration eines Simulationssystems in den Regelkreis vor. Auf diesem Wege kann der Regler mit Informationen über den künftigen Verlauf der Sollgrößen beaufschlagt werden, was die Möglichkeit zur vorausschauenden Adaption der Stellgrößen eröffnet und das Totzeit-Problem somit löst.

Gegenstand der Simulation muß die Regelstrecke, also das gesamte Produktionssystem sein (vgl. Abbildung 21). Wichtig ist die kontinuierliche Adaption des Modells in Abhängigkeit von Änderungen der zugrundeliegenden Fertigungs- und Montagestrukturen sowie der verfügbaren Ressourcen, d.h. jede beabsichtigte Änderung an der Struktur oder den Leistungsdaten des Produktionssystems muß vor der tatsächlichen Realisierung im Simulationsmodell nachgebildet und deren Auswirkungen im Zuge eines Simulationslaufes beurteilt und gegebenenfalls angepaßt werden.

Konzeption für die Regelung
zeitvarianter Produktionssysteme

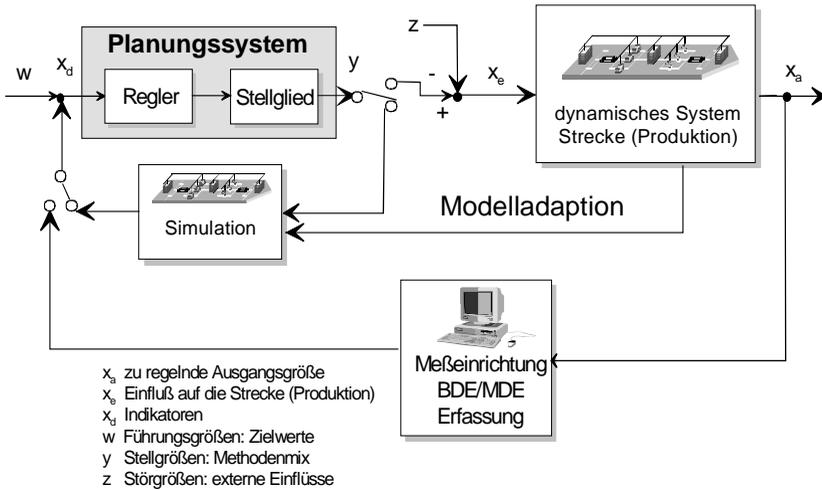


Abbildung 21: Vorausschauende Regelungsstruktur durch Integration der Simulation (nach Zetlmayer 1994)

Zusammenfassend lassen sich folgende Anforderungen an die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme nennen:

- Berücksichtigung unterschiedlicher Zeithorizonte der im Regelbereich vorgenommenen bzw. eintretenden Änderungen durch ein kaskadiertes Regelungskonzept
- Berücksichtigung der systemimmanenten bzw. organisatorisch bedingten Totzeiten durch eine simulationsbasierte, prädiktive Regelung
- Berücksichtigung dezentraler Organisationsstrukturen und hierarchischer Aufgabenkomplexe durch ein hierarchisches Regelungskonzept

Diesen Ansprüchen soll im folgenden durch die Konzeption eines vermaschten bzw. kaskadierten Produktionsreglers mit integriertem Simulationssystem genüge getan werden.

Abbildung 22 stellt die Topologie des Regelungskonzeptes dar. Entscheidend dabei ist die Differenzierung zwischen dem eigentlichen Bereichsregler (Umsetzung der Maßnahmen) und der bereichsübergreifende Regler (Planungssystem, vgl. Kap. 6) dessen Aufgabe die Identifizierung der Maßnahmen darstellt.

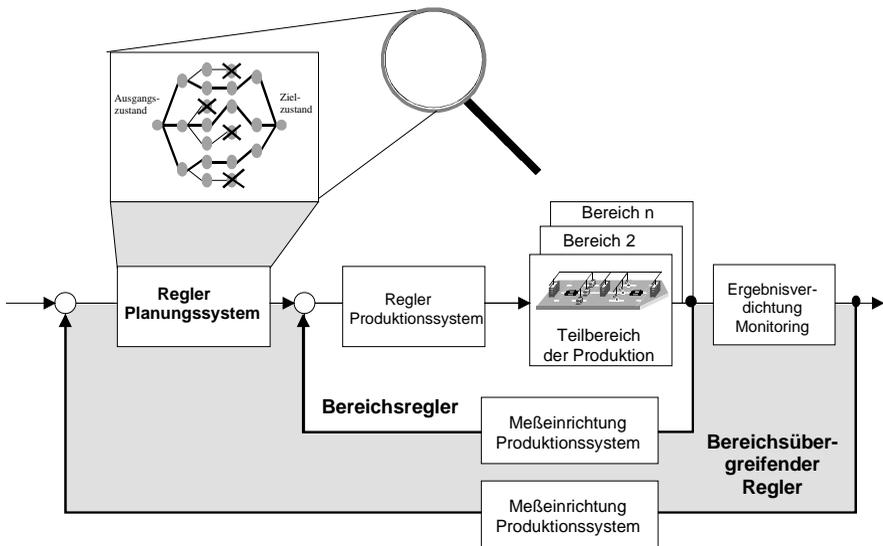


Abbildung 22: Regelung auf Bereichs- und bereichsübergreifender Ebene

Den Schwerpunkt dieser Arbeit bildet die Entwicklung einer Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme. Nach der Einordnung der Methode in den bereichsübergreifenden Regler gilt es nun, diese Planungsmethode zu konkretisieren. Dazu werden die Aufgaben und Phasen der Planungsmethode im nächsten Abschnitt dargestellt. Zur Vollständigkeit wird auch die Regelung auf Bereichsebene besprochen.

5.5.2 Bereichsübergreifende Regelung

Der oben erwähnte äußere Regelkreis, welcher die langfristige Anpassung der Planungskonzepte und -methoden gewährleisten soll, wird im Rahmen des hier vorgestellten Konzeptes als bereichsübergreifender Regler bezeichnet. Er konkretisiert die langfristigen Anpassungen zu einer Folge von Zwischenschritten, sog. Meilensteinen. In Abbildung 23 sind die wesentlichen Bereiche dargestellt, die im Rahmen einer Umplanung im Produktionsbereich durchlaufen werden. Diese drei Bereiche bilden die eigentliche Planungsmethode, welche im bereichsübergreifenden Regelkreis beschrieben wird. Die entwickelte Planungsmethode wird ausführlich in Kap. 6 beschrieben.

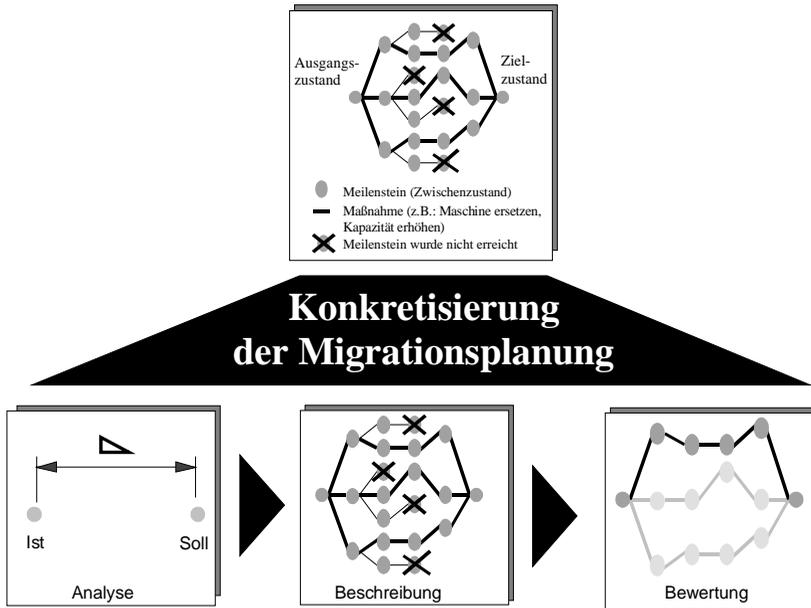


Abbildung 23: Vorgehensmethode für die Migrationsplanung

Die Aufgabe der *Analyse* ist es den Ausgangszustand des Produktionssystems zu bestimmen. Im Rahmen der *Beschreibung* werden mögliche Migrationsstrategien ermittelt und auf deren Zielerreichung überprüft. Im Zuge der *Bewertung* wird der beste Migrationspfad bestimmt. Dabei werden sowohl projektspezifische Ziele (Zeit, Personal) als auch explizit die Umplanungskosten miteinbezogen.

Auf der bereichsübergreifenden Ebene werden operationalisierte Lokalziele für die darunterliegenden Bereiche unter Berücksichtigung der zeitveränderlichen Systemlast abgeleitet. Letztere ergibt sich aus Änderungen des Produktionsprogramms, sei es seitens der Kunden oder durch Änderungspläne der Unternehmensleitung.

Wichtige Information für die bereichsübergreifende Regelung sind Abweichungen zwischen den Produktionszielen und den durch die BDE/MDE rückgemeldeten und durch das Controlling / Monitoring aufbereiteten Zielerreichungsgrade. Notwendige Änderungen hinsichtlich der Steuerungsstrategien oder der Produktionsstruktur werden hier erarbeitet und als Führungsgrößen für die jeweiligen Bereichsregler weitergegeben.

Wesentliches Merkmal des Planungsvorganges auf dieser Ebene ist der Einsatz eines Simulationssystems. Dieses arbeitet mit einem Modell, das alle aktuellen Betriebsdaten, Strukturen und anstehenden Arbeitsgänge exakt abbildet. Eine Simulation in den Zu-

kunftshorizont erlaubt eine vorausschauende, also prädiktive Beurteilung möglicherweise auftretender Abweichungen oder Störungen (ZETLMAYER 1994, SEITE 41). Dadurch gelingt es bereits auf Planungsebene Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zu beurteilen, ohne daß diese tatsächlich ausgeführt werden müssen. Die Simulation ermöglicht also die zeitsparende Optimierung, die solange fortgesetzt wird, bis die simulierten Ist-Werte nur noch im zulässigen Rahmen von den vorgegebenen Soll-Werten abweichen.

5.5.3 Regelung auf Bereichsebene

Der erwähnte innere Regelkreis, die Regelung auf Bereichsebene, soll die durch die bereichsübergreifende Regelung operationalisierten Lokalziele durchsetzen und kurzfristig auftretende Störungen beheben.

Systemlast des Reglers auf Bereichsebene sind die abzuwickelnden Produktionsaufträge bzw. Arbeitsgänge. Dementsprechend müssen die Regler der Bereichsebene für die kontinuierliche Anpassung der Belegungspläne an die veränderte Situation in der Produktion sorgen.

Die Optimierung der Maschinenbelegungspläne geschieht wiederum mit Hilfe einer ereignisorientierten Simulation. Die Arbeitsveranlassung besorgt die tatsächliche Umsetzung einzelner Maßnahmen bzw. die Durchführung einzelner Arbeitsgänge. Die BDE/MDE sorgt für eine Rückkopplung der erzielten Produktionsergebnisse bzw. –daten an den Bereichsregler, womit eine Überwachung des Auftragsfortschrittes und des Anlagezustandes möglich wird.

5.6 Ablauf zur Regelung zeitvarianter Produktionssysteme

Der prinzipielle Ablauf wird in Abbildung 24 dargestellt. Ausgehend von vorgegebenen Zielgrößen (Soll-Werte) und den realen Daten aus der Produktion (Ist-Werte) müssen durch Anpassung der aktuell verfolgten Strategie bzw. der vorliegenden Struktur vorhandene Abweichungen möglichst beseitigt werden. Die Machbarkeit bzw. Effizienz bestimmter Maßnahmen-Mixe hinsichtlich der Strategie und Struktur wird durch eine vorausschauende Simulation überprüft. Erst wenn die Bewertung der Maßnahmen deren adäquate Wirkung bestätigt, werden diese in der Produktion umgesetzt. Rückmeldungen aus dem Produktionsbereich werden zu logistischen Kennzahlen verdichtet und an das Planungssystem weitergegeben, womit sich der Regelkreis schließt.

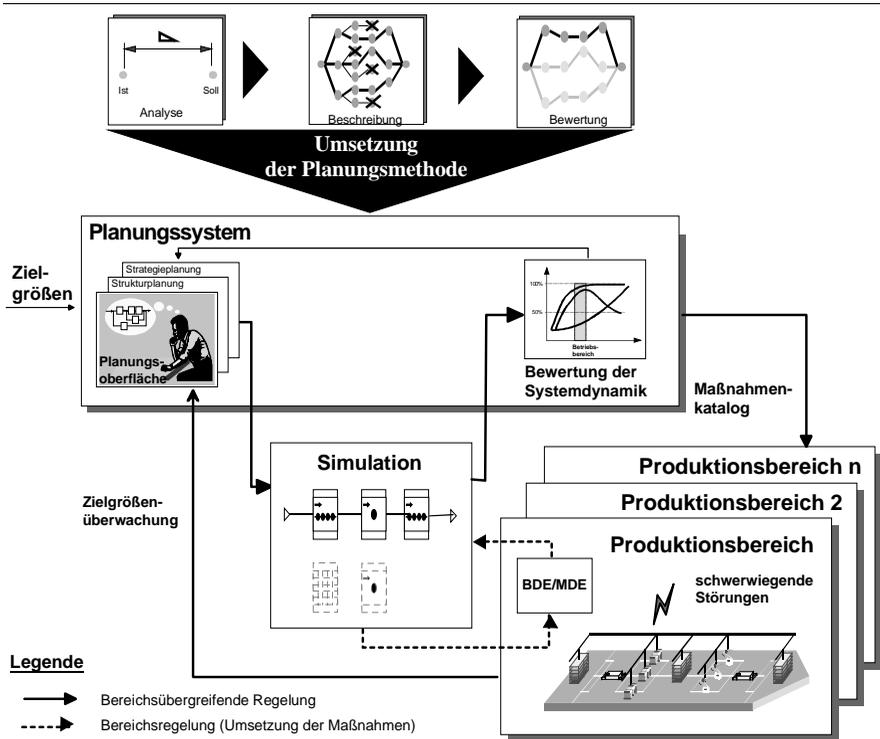


Abbildung 24: Ablauf des Regelungskonzeptes

Zur Überführung des Systems in den neuen Betriebszustand sind unterschiedliche zeitliche Betrachtungshorizonte (langfristige, kurzfristige) zu beachten. Zur Umsetzung dieser Anforderungen wird das Prinzip der Kaskadenregelung angewendet. Der Aufbau der Kaskadenregelung ergibt sich wie folgt:

- **Bereichsübergreifende Regelung:** Ausgehend von den Zielgrößen werden im Planungssystem die notwendigen Strategie- und Strukturänderungen bestimmt und als Führungsgröße den einzelnen Bereichsreglern aufgeschlagen. Diese Führungsgrößen beinhalten traditionelle logistische Vorgaben sowie bestimmte Maßnahmen und Zielvorgaben die die eigentliche Struktur- bzw. Strategieänderung beschreiben. Geschlossen wird der bereichsübergreifende Regelkreis durch eine Zielgrößenüberwachung. Ziel dieser Überwachung ist es, eventuelle Planungsfehler frühestmöglich zu

identifizieren bzw. bei schwerwiegenden Störungen während der Migration „Notstrategien“ zu entwickeln.

- *Bereichsregler*: Ziel des Bereichsreglers ist die Umsetzung der Vorgaben des Planungssystems. Problematisch gestaltet sich die Überprüfung der Zielerreichung, da entsprechende Zwischenzustände nicht explizit über BDE/MDE -Erfassungssysteme aufgezeichnet werden.

In Erweiterung zur Regelung stationärer Systeme werden die Planvorgaben (Führungsgrößen) der aktuellen Situation angepaßt und fortlaufend verändert. Dadurch erfolgt eine kontinuierliche Regelung entlang eines Migrationspfades, welcher mittels der Ergebnisverdichtung überwacht wird. Der Migrationspfad wird durch eine Vielzahl von Zwischenzuständen beschrieben. Mittels der Ergebnisverdichtung wird das Erreichen eines Zwischenzustandes gemeldet und dementsprechend die neue Führungsgröße vom Planungssystem für den Bereichsregler ausgegeben. Dieses Vorgehen erfolgt solange, bis der gewollte Betriebszustand erreicht ist.

5.7 Identifikation von Stellgrößen

Während die Regelungsgrößen als Zielvorgaben für die Produktionsregelung dienen, sind die Stellgrößen diejenigen Parameter, deren Veränderung eine gezielte Einflußnahme auf die Zielkriterien erlaubt.

Aufgrund der Besonderheiten der unterschiedlichen Organisationstypen der Fertigung und der eingesetzten Steuerungsverfahren scheidet die Identifikation von allgemeingültigen Stellgrößen. Vielmehr müssen diese ausgehend von einer Klassifikation von Unternehmen, wie sie in der betrieblichen Praxis vorzufinden sind, typspezifisch abgeleitet werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine Methoden-toolbox vorgestellt, welche eine systematisch geordnete Menge von Standardmethoden zur Umplanung bzw. zum regelnden Eingriff in das Produktionssystem anbietet. Diese müssen im Falle von anstehenden Änderungen – seien diese geplant oder ungeplant – lediglich in Abhängigkeit der Beschränkungen, welche die tatsächliche Ausprägung des Produktionssystems vorgibt, ausgewählt werden.

Zur Erklärung dieses Prozederes sei als Beispiel ein Betrieb der kundenanonymen Großserienfertigung mit Fließfertigung angeführt, welche nach dem Kanban-Prinzip gesteuert wird. Als ungeplante Änderung bzw. Störung sei der Ausfall eines Arbeitssystems innerhalb des Fließprozesses angenommen. Die ersten Handlungsbeschränkungen ergeben sich aus dem Organisationstyp der Fertigung. Während im Falle einer Werkstattfertigung etwa ein einfaches Ausweichen auf eine andere Maschine möglich wäre, ist diese Maßnahme im Falle der Fließfertigung nicht geboten. Es zeigt sich also, daß einige der in der Methoden-toolbox enthaltenen Standardmethoden zur Störungskompensation ausscheiden. Desweiteren erlaubt das Kanban-Prinzip Änderungen nur bei der Festlegung der Anzahl der Kanbans bzw. bei der Bestimmung der Größe der

einzelnen Pufferbestände, so daß auch hier Handlungsbeschränkungen vorliegen, welche die Wahl weiterer Standardmethoden ausschließen. Dieses kurze Beispiel macht klar, daß als Stellgrößen nur typspezifische Parameter in Frage kommen. In den folgenden Abschnitten wird die bereits erwähnte Methoden-toolbox vorgestellt.

Der strategische Steuerungsraum – eine Methoden-toolbox

Ein vielfach in der Literatur zitierter Ansatz zur Zuordnung von geeigneten Steuerungsstrategien für unterschiedliche Betriebstypen identifiziert diverse Steuerungsparameter, die unabhängig vom eingesetzten Steuerungsverfahren einen Modellraum aufspannen, in den alle Steuerungsstrategien eingeordnet werden können (ZÜLCH 1989).

Häufig sind Probleme im Produktionsbereich dadurch gekennzeichnet, daß

- Kapazitätsgrenzen temporär überschritten werden,
- die Kapazität im Planungszeitraum nicht voll genutzt wird,
- Durchlaufzeiten sehr hoch sind und
- Liefertermine nicht eingehalten werden können.

Aus einer tiefergehenden Betrachtung des Belastungsprofil eines Arbeitsplatzes läßt sich durch folgende Maßnahmen schrittweise Abhilfe hinsichtlich der oben aufgezählten Probleme schaffen:

- Änderung der Reihenfolge der Aufträge, führt zur Verlängerung von Wartezeiten vor dem betrachteten Arbeitssystem,
- Änderung der Auftragsgröße, verändert die Anzahl der herzustellenden Mengeneinheiten, und die
- Änderung der Veranlassungslogik, welche zu einer Formänderung des Belastungsprofils führt⁴. Die Veranlassung von Fertigungsaufträgen wird nicht mehr zu den nach Lieferterminen und Vorlaufzeiten geplanten Zeitpunkten durchgeführt.

Werden diese Maßnahmen bzw. Parameter als Dimensionen eines Modellraumes herangezogen, ergibt sich der sogenannte "strategische Steuerungsraum", für den jede Kombination der drei Parameter einen Strategietyp kennzeichnet (vgl. Abbildung 25).

Die einfachste Steuerungsstrategie besteht darin, weder die Auftragsgröße, noch die Reihenfolge, noch die Veranlassungslogik zu ändern⁵ (vgl. Abbildung 25: Strategie 1). Es handelt sich hier also um keine Strategie im eigentlichen Sinn, da das Belastungsprofil keinerlei Änderung erfährt. Anwendbar ist diese Strategie lediglich für eine Kapazitätsnachfrage, die kleiner als das Angebot ist.

⁴ Die Veränderung der Veranlassung von Fertigungsaufträgen bedeutet, daß diese nicht mehr zu den nach den Lieferterminen und Vorlaufzeiten geplanten Zeitpunkten erfolgt. Der Einsteuerungszeitpunkt wird nun nach anderen Kriterien, beispielsweise einer Verbesserung der Auslastung eines Arbeitssystems vorgenommen.

⁵ Diesem Strategietyp kann das FZK (Fortschrittzahlenkonzept) zugeordnet werden.

Im weitesten Sinne handelt es sich bei Strategie 2 um einen Kapazitätsabgleich⁶, der dadurch gekennzeichnet ist, daß weder die Veranlassungslogik (Veranlassung nach geplanter Vorlaufzeit) noch die Auftragsgröße verändert werden. Variiert wird lediglich die Reihenfolge der Aufträge, was durch zeitliches (Umschichten) oder technisches Verschieben (Ausweichen) oder durch eine Kombination beider Maßnahmen (Umschichten und Ausweichen) erreicht werden kann. Diese Kapazitätsterminierung kann durch eine Reihenfolgeoptimierung oder den Einsatz von Prioritätsregeln flankiert werden. Es erfolgt also die Anpassung des Kapazitätsangebotes an die –nachfrage. Strategie 3 kennzeichnet ebenfalls einen Kapazitätsabgleich, nur daß hier die Kapazitätsnachfrage durch die Änderung der Auftragsgröße an das –angebot angepaßt wird, z.B. durch eine Fremdvergabe oder die Übernahme von zusätzlichen Aufträgen. Veranlassungslogik und Auftragsreihenfolge bleiben unverändert. Strategie 4 kombiniert die Änderung der Auftragsgröße mit der Änderung der Auftragsreihenfolge, was z.B. im Zuge der Fertigung optimaler Losgrößen oder der Optimierung der Rüstzeiten geschieht. Strategie 5 verändert die Veranlassungslogik bei gleichbleibender Auftragsgröße und –reihenfolge⁷. Als konkrete Maßnahme läßt sich die Überlappung⁸ von Aufträgen anführen. Strategie 6 verändert sowohl die Auftragsreihenfolge als auch die Veranlassungslogik. Dies geschieht häufig im Rahmen der Einzel- und Kleinserienfertigung nach dem Werkstattprinzip. Zur Veränderung von Auftragsgröße und Veranlassungslogik bei gleicher Reihenfolge der Aufträge (Strategie 7) könnten beispielsweise Aufträge zeitlich oder technisch gesplittet⁹ werden. Eine Chargenfertigung ist in diesem Falle ebenfalls denkbar¹⁰. Die letzte Stra-

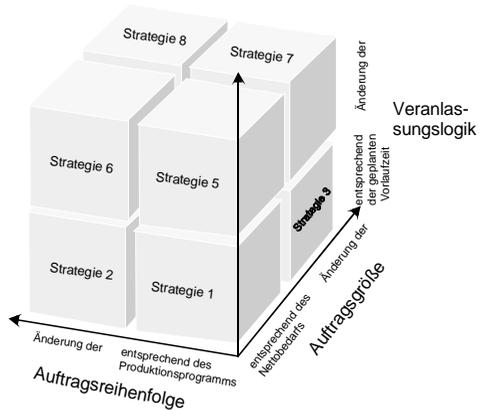


Abbildung 25: Strategietypen im strategischen Steuerungsraum nach Zülch 1989

⁶ Adäquate Maßnahmen sind die Reihenfolgeoptimierung, die Kapazitätsterminierung sowie der Einsatz von Prioritätsregeln.

⁷ Die BoA (Belastungsorientierte Auftragsabwicklung) ist diesem Strategietyp zuzuordnen.

⁸ Dieses Vorgehen beschreibt die Trennung von Transport- und Fertigungslosen.

⁹ Der Auftrag wird in mehrere Teile aufgeteilt, was zu einer Verlängerung oder Verkürzung (bei Verteilung auf andere Arbeitssysteme) des Belastungsprofils führt.

¹⁰ Die Chargenfertigung läßt sich als Kombination von Splittung und Überlappung deuten, wobei das für die Fertigung in Chargen notwendige mehrfache Rüsten in Kauf genommen wird.

ategie des Steuerungsraumes, Strategie 8, verändert schließlich sowohl die Auftragsreihenfolge und –größe als auch die Veranlassungslogik¹¹. Diese Strategien bilden eine Systematik, auf die sich alle Steuerungsmaßnahmen im Fertigungsbereich zurückführen lassen. Allerdings ist das Ziel aller von Zülch verfolgten Strategien ein Kapazitätsabgleich, d.h. die vorhandenen Kapazitäten werden als Konstante betrachtet. Wobei die Steuerungsstrategien eingesetzt werden, um eine optimale Kapazitätsauslastung zu erreichen. Die Betrachtung von Migrationsstrategien geht daher noch über den Ansatz hinaus, da hier eine Veränderung der Kapazitäten betrachtet wird. Dennoch bildet der Ansatz einerseits die Basis für die Klassifikation von Stellgrößen andererseits auch für eine wirtschaftliche Bewertung der identifizierten Migrationsstrategien (vgl. Kapitel 7)

5.8 Zusammenfassung

Neben der genauen Kenntnis der Regelungs- und Stellgrößen erfordert die effiziente Regelung eines Produktionssystems auch Erfahrungen hinsichtlich der wechselseitigen Abhängigkeiten einzelner Stell-Parameter. Um diese trotz der Komplexität und Heterogenität moderner Produktionsstrukturen und –verfahren quantifizieren zu können, sind aufwendige Simulationsstudien auf Basis idealtypischer Strukturen durchzuführen. Eine der umfangreichsten Analysen auf diesem Gebiet (GRAF 1991) hat jedoch ergeben, daß im Zuge einer Simulation ermittelte Auswirkungen von Parameteränderungen auf Produktionssysteme nur Gültigkeit für die der Simulation zugrundeliegenden Strukturen haben und nicht als allgemeingültige Aussagen auf die Realität übertragen werden können. Vor diesem Hintergrund bleibt demnach nur festzustellen, daß zur Beherrschung der Komplexität der Interdependenzen zwischen einzelnen Stellgrößen auf eine Simulation der geplanten Maßnahmen nicht verzichtet werden kann. Eine rein analytische Berücksichtigung dieser Wechselwirkungen bei der Ableitung von Umplanungsmaßnahmen ist vollkommen ausgeschlossen.

Daher wird die Simulation auch für das hier vorgestellte Konzept neben anderen Zwecken als Beurteilungsinstanz hinsichtlich der Qualität von Maßnahmen-Mixen vorgesehen.

¹¹ Diesem Strategietyp wird das Kanban-Verfahren zugeordnet, da hier die Veranlassung eines neuen Fertigungsauftrages bei der Unterschreitung eines Meldebestandes erfolgt und die Auftragsreihenfolge unabhängig vom tatsächlichen Bedarf ist.

6 Darstellung der Planungsmethode

6.1 Ziel und Vorgehensweise

Nachdem die Konzeption für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme dargestellt wurde, wird diese in bezug auf die Planungsmethode konkretisiert. Bei der Konzeption der Planungsmethode werden Aspekte der interaktiven Planung, der Abschätzung von Auswirkungen und ein Vorgehensmodell zur Beschreibung der Migrationstrategie angegeben. Die Einbindung der Simulation wird in zweierlei Hinsicht berücksichtigt. Einerseits werden die spezifischen Anforderungen für die Einbindung der Ablaufsimulation in den Planungsprozeß beschrieben, zum anderen werden zusätzliche Anforderungen an die Modellerstellung für die Darstellung der Zeitvarianz angegeben. Abgeschlossen wird die Konzeptionierung durch die Beschreibung des Planungsprozesses in drei Phasen. Bei der Umsetzung werden die vorgestellten Planungsphasen "Analyse", "Beschreibung" und "Bewertung" detailliert beschrieben. Den Schwerpunkt in der Analysephase bildet die Differenzierung von Störungen in "leichte" und "schwere" Störungen. Aufbauend auf dieser differenzierten Darstellung erfolgt in der Beschreibungsphase eine Behandlung von möglichen Maßnahmen zur Behebung der Störungsbilder. Abschließend wird die ablaufspezifische Umsetzung der Maßnahmen, d.h. die Migrationsstrategie dargestellt.

6.2 Planungsmethode als zentraler Bestandteil des äußeren Regelkreises

Der im Rahmen dieser Arbeit verwendete Begriff der Produktionsregelung beinhaltet einen geschlossenen Wirkungsablauf, bei der die Regelgröße im Wirkungsweg des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst. Charakteristisch für diesen Produktionsregelkreis ist der Einsatz der Ablaufsimulation als Planungswerkzeug zur Struktur- und Strategieplanung und als Controllinginstrument während der Betriebszustandsüberleitung. Die Simulation stellt das Bindeglied zwischen dem Planungssystem und dem „realen“ Produktionssystem dar (vgl. Abbildung 24).

Den zentralen Bereich bei der Produktionsregelung bildet das eigentliche Planungssystem. Im Planungssystem werden die Führungsgrößen für den bereichsübergreifenden Regler durch einen Maßnahmenmix aus *Zielstrukturen* und *Zielstrategien* festgelegt. Die Ablaufsimulation dient zur Verifikation des dynamischen Verhaltens bei Zielwertänderungen. Nach der Bewertung der Systemdynamik (z.B. kein Abreißen des Materialflusses) werden die Strategie- bzw. Strukturänderungen dem Bereichsregler aufgeschlagen. Geschlossen wird der Regelkreis durch die Zielgrößenüberwachung. Inhalt dieses Überwachungssystems ist das Aufzeigen von eventuellen Planungsfehlern bzw. das Auftreten von schwerwiegenden Störungen, die zu einem neuen Umplanungszyklus führen.

Der Bereichsregelkreis wird ebenfalls über die Ablaufsimulation geschlossen. Mit der Ablaufsimulation wird einerseits die Stabilität der geplanten Maßnahmen (Strukturen, Strategien) überprüft und andererseits durch vorausschauende Simulation der zukünftige Verlauf der Sollgröße bestimmt. Mit diesem Wissen kann der Regler mit Hilfe einer Prädiktion des Systemverhaltens die Totzeit der Strecke überwinden und die optimierte Stellgröße ermitteln.

6.3 Konzept des Planungssystems

Ausgehend von den Zielvorgaben, die sich aus gewollten bzw. störungsbedingten Vorgaben ergeben, sind dem System Hilfsmittel zur Planung von beabsichtigten Strategie- und Strukturänderungen oder zur Planung der Reaktion auf unbeabsichtigte Störungen bereitzustellen. Damit der Übergang in den neuen Systemzustand gezielt, stabil und sicher, sowohl bei geplanten Änderungen als auch bei gravierenden Störungen erfolgen kann sind für die Beherrschung des unstrukturierten Problems interaktive Planungshilfsmittel, Simulationsverfahren, Beschreibungs- und Überwachungsmethoden notwendig. Zur Erreichung dieser Ansprüche muß das Planungssystem folgende Funktionen erfüllen:

- *Interaktive Planung:* Für die Darstellung der aktuellen Informationen und zur Überwachung des Fortschritts in der Produktion sind *interaktive Monitoringsysteme* notwendig. Für die Nachvollziehbarkeit der Planungsschritte ist ein *Kennzahlensystem* bereitzustellen. Auf Basis dieser Kennzahlen können Trendanalysen sowie Prognosen für den Betriebszustandwechsel erstellt werden. Zur Darstellung der verschiedenen Methoden ist eine dem Anwendungsfall angepaßte Benutzeroberfläche zu entwickeln (vgl. Kap. 8).
- *Transparente Abschätzung von Auswirkungen:* Zur Verifizierung der Planungsergebnisse, welche sich aus der Struktur- und Strategieplanung ergeben, wird mittels eines *Ablaufsimulationssystems* ein iteratives Optimieren bzw. das Aufzeigen von Handlungsspielräumen erreicht. Dabei sind spezielle Zustandsvariablen zu bestimmen, die während eines Simulationslaufes den aktuellen Fortschritt des Übergangsprozesses widerspiegeln.
- *Beschreibung der Migration:* Zur Migrationsbeschreibung ist ein Maßnahmenkatalog bereitzustellen. Dieser enthält konkrete Maßnahmen zur Änderung der Struktur oder der Strategie, wie beispielsweise die Strategieänderung beim Erreichen eines bestimmten Bestandes an einer Maschine. Beispielsweise kann aufgrund einer Umstrukturierung der Fall eintreten, daß eine bestimmte Maschine auf Lager produzieren muß, damit während der Umstrukturierung der Materialfluß nicht unterbrochen wird. Inhalt des Maßnahmenplans ist es, diese Übergänge zu beschreiben und Abhängigkeiten verschiedener Maßnahmen (vgl. Abschnitt 6.6.4) darzustellen.

Die Simulation stellt das Bindeglied zwischen dem realen System und dem Planungssystem dar. Aufgrund dieser zentralen Stellung sind besondere Anforderungen an die Simulationstechnik zu stellen:

- Das Simulationswerkzeug muß so konzipiert sein, daß Simulationsmodelle auf unterschiedlichen Detaillierungsniveaus modelliert werden können, weil das System für unterschiedliche konkrete Aufgabenstellungen geeignet sein soll. Aufgrund verschiedener Störsituationen muß es dem Planer möglich sein, auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus sich der Problemlösung zu nähern.
- Zur Überwachung der Migrationsstrategie ist für die betriebsbegleitende Simulation eine Aufsynchroisation des Modells mit den realen Systemzuständen notwendig (BDE/MDE- Kopplung).

Ziel des Simulationseinsatzes ist, die benötigten Strategie- bzw. Strukturänderungen bei einem Betriebszustandswechsel zu identifizieren und den Handlungsbedarf je nach Situation festzulegen. Charakterisiert wird dieser Handlungsspielraum z.B. durch die verschiedenen Organisationsformen der Fertigungs- und Montagebereiche. Zur Umsetzung dieser Anforderungen ergeben sich folgende Lösungsansätze:

- *Anbindung an Realdaten*: Das Simulationsmodell wird mit der Realität aufsynchronisiert, damit ein ausreichender Realitätsbezug gewährleistet werden kann. Mittels der Betriebsdatenerfassung bzw. -verarbeitung werden ereignisorientierte Daten aus dem Produktionsprozeß erhoben, vorverarbeitet und in verdichteter Form gespeichert.
- *Betriebsbegleitende Simulation*: Zur Überwachung und Kontrolle erfolgt ein paralleles Simulieren mit den realen Prozeßdaten, damit im Zuge eine Abweichung der Ist-Werte von den Soll-Werten möglichst frühzeitig erkannt werden kann.
- *Kennzahlenorientiertes Monitoring*: Es wird ein Beobachtungsverfahren eingesetzt, das es ermöglicht, die aus der Planung lediglich diskreten Zeitpunkte und Sachverhalte über einen einfachen Vergleich zwischen dem Stand in der Realität (Ist) und dem in der Simulation (Plan/Soll) zu vergleichen. Beim Soll-/Ist Vergleich wird in Erweiterung bzgl. der Korrektheit und Rechtzeitigkeit, welche durch die ereignisgesteuerte Zustandsüberwachung verfolgt wird, eine zeitpunktgesteuerte, intervallgesteuerte und manuelle Untersuchungen eingeleitet. Speziell für die Regelung zeitvarianter Systeme sind Anlaufkurven für verschiedene Systeme zu durchlaufen. Die Bildung des Kennzahlensystems ist in enger Abstimmung mit dem Maßnahmenkatalog zu erstellen. Hierbei ergeben sich zustandsgesteuerte Kennzahlen (z.B. Bestand erreicht), ereignisgesteuerte Kennzahlen (z.B. Werkstück A bei Maschine X) und die manuelle Eingabe von Kennzahlen (z.B. Lager fertig). Mittels dieser Vorgehensweise ist eine transparente Darstellung der Migrationsstrategie möglich.

In engem Zusammenhang mit der Simulationstechnik steht die Modellierung des betrachteten Produktionssystems. Speziell für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme sind an die Modellierung dieser Systeme zusätzliche Anforderungen zu stellen.

- Modellbaukasten zur Auswahl verschiedener Strategien (z.B. unterschiedliche Steuerungsstrategien). Diese Strategien werden je nach Anwendungsfall ohne hohen Änderungsaufwand in das Gesamtsystem integriert. Voraussetzung dafür ist die Kompatibilität der einzelnen Bausteine. Dies erfolgt beispielsweise mittels standardisierter Schnittstellen der Bausteine.
- Modellbaukasten zur Auswahl verschiedener Strukturelemente (z.B. verschiedene Werkzeugmaschinen, BAZ). Speziell für die betriebsbegleitende Simulation ergibt sich der Anspruch, daß die Elemente zur Laufzeit automatisch vernichtet, erzeugt, ersetzt und parametrisiert werden müssen. Hier gelten die selben Anforderungen an die Kompatibilität wie für die Strategien.

Aufgrund der Interdependenzen der Struktur- und Strategieplanung ist eine getrennte Modellierung der Elemente nicht möglich. Die Modellbildung muß in Abstimmung mit der verwendeten Strategie und Struktur erfolgen. Durch diese Abhängigkeit ergeben sich dynamische Eigenschaften bei der Modellbildung. Die geschilderten Anforderungen an die Erstellung des Simulationsmodells können Abbildung 26 entnommen werden.

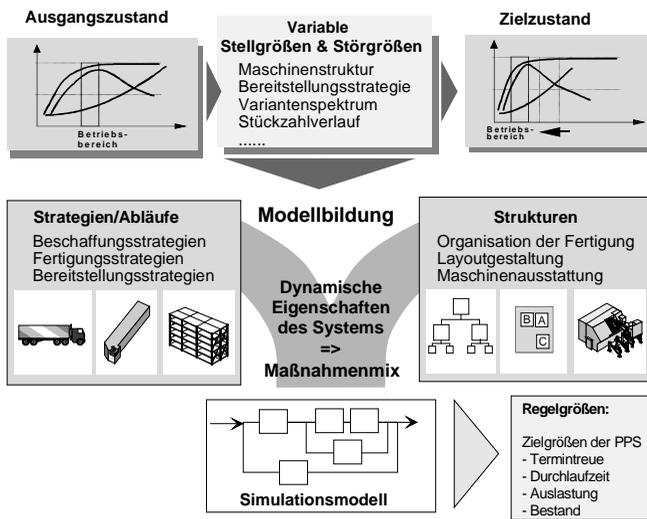


Abbildung 26: Erweiterte Modellbildung für zeitvariante Produktionssysteme

6.4 Vorgehensmodell zur Beschreibung der Migrationsstrategie

Der Kern dieses Vorgehensmodells liegt in der Ermittlung der alternativen Migrationspfade mit den dazugehörigen Veränderungsmaßnahmen. Zur Beschreibung der Migrationsstrategie ist ein Vorgehensmodell notwendig das den Übergang in einzelne Phasen unterteilt. Die einzelnen Phasen werden wie folgt definiert. Eine Beschreibung der einzelnen Phasen wird in Abschnitt 6.6 ausführlich vorgenommen.

- *Analyse der Ausgangslage und Zieldefinition:* Identifikation der Ist-Situation und Vergleich mit entsprechender Soll- Situation. Dabei erfolgt eine Abschätzung des notwendigen Veränderungsbedarfs.
- *Beschreibung der Systemüberführung:* Bestimmen alternativer Migrationspfade mit dazugehörigen Veränderungsmaßnahmen. Zur Reduzierung der Migrationskomplexität erfolgt eine Einteilung in kleinere Veränderungsschritte.
- *Bewertung der Migrationsstrategien:* Auswahl der besten Migrationsstrategie anhand von Bewertungsgrößen. Als Bewertungsgrößen werden primär Stabilitätskriterien berücksichtigt, welche eine gesicherte Überführung des Systems in den Sollzustand ermöglichen. Zur Entscheidungsunterstützung werden noch wirtschaftliche Bewertungsgrößen herangezogen. Die Methode zur Identifikation der entscheidungsrelevanten Kosten wird im Kap. 7 vorgestellt.

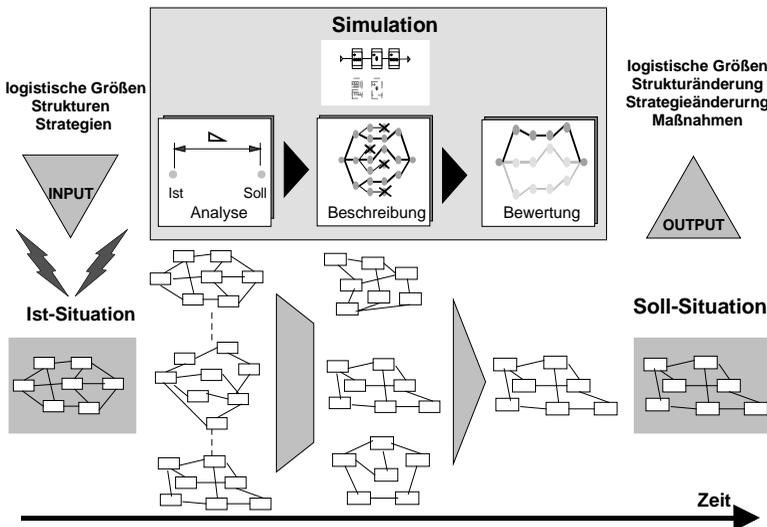


Abbildung 27: Entwicklung einer Migrationsstrategie für einen Betriebspunktwechsel

Abbildung 27 stellt die Vorgehensweise zur Ermittlung der Migrationsstrategie dar. Im Störfall muß die Ist-Situation des Produktionssystems erfaßt werden. Dabei wird das Simulationmodell mit den realen Zuständen aufsynchronisiert (log. Werte, Struktur, Strategie). Ausschlaggebend für die Repräsentation des Ist-Zustandes ist ein möglichst genaues Abbild der Realität. Die Anforderungen an die Modellbausteine wurden im vorherigen Abschnitt 6.3 beschrieben.

Je nach Störfallsituation werden verschiedene Szenarien für die Erreichung des Soll-Zustandes ermittelt. Der Soll-Zustand ergibt sich bei gewollter Änderung aus den Planungsvorgaben, bei einer schwerwiegenden Störung aus entsprechenden Notstrategien. Der Veränderungsbedarf kann sich sowohl auf Strategie- als auch auf Strukturänderungen beziehen.

Der Übergang von der Analyse- in die Beschreibungsphase erfolgt durch die Identifikation von Maßnahmen, welche eine eventuelle Überführung des Systems in den neuen Betriebszustand ermöglichen. Ziel ist es, aus dem Angebot von Migrationsstrategien diejenige mit den besten Erfolgsaussichten zu bestimmen. Die Erfolgsaussichten ergeben sich aus den spezifischen Projektvorgaben bei geplanten Änderungen bzw. bei Störungen aus der möglichst schnellen Störungsbehebung. Im Rahmen der Migrationsplanung werden nun die verschiedenen Strategien mittels kleiner Veränderungsschritte beschrieben. Zweck dieses Vorgehens ist einerseits eine Komplexitätsreduzierung zu erreichen, andererseits bei schon angestoßener Migration eine flexible Zielorientierung zu gewährleisten.

Im Anschluß an die Beschreibung erfolgt eine Bewertung der verbliebenen Migrationsstrategien mittels der Simulation. Primäre Bewertungskriterien sind die Einhaltung der Optimierung hinsichtlich der Zielvorgaben (Zeit, Kosten) und der Systemstabilität bei der Überführung des Systems in den neuen Betriebszustand. Desweiteren wird die Zielerreichung des Migrationsprozesses mittels der aus der Beschreibung bestimmten Zwischenzustände überprüft. Ergebnis dieser Bewertung ist eine Migrationsstrategie. Die Führungsgrößen (Struktur- und Strategieänderungen, Maßnahmen) können durch richtige Parametrisierung der Modellbausteine aus den Simulationsergebnissen ermittelt werden.

Die dargestellte Planungsmethode bildet die Ausgangsbasis für die konkrete Beschreibung der Planungsphasen. Bei der Konkretisierung werden die ermittelten Anforderungen in die entsprechenden Planungsphasen „Analyse“, „Beschreibung“ und „Bewertung“ integriert und ausgearbeitet.

6.5 Konkretisierung der Planungsmethode

Aufbauend auf den Anforderungen der vorangegangenen Kapiteln läßt sich die Migration mit Hilfe einer dreistufigen Planungsmethode beschreiben.

Das Ziel der Migrationsbeschreibung wird in drei Planungsphasen (Phase 1: Analyse, Phase 2: Beschreibung, Phase 3: Bewertung; vgl. Abbildung 28) erreicht, von denen jede bereits zur Reduzierung der Komplexität und damit zur Erhöhung der Transparenz beiträgt. Ergebnis dieses Planungszyklus ist eine Migrationsstrategie, welche beschrieben wird durch die einzelnen vorzunehmenden Maßnahmen, deren Terminierung, Dimensionierung sowie Identifikation der zu überwachenden Größen.

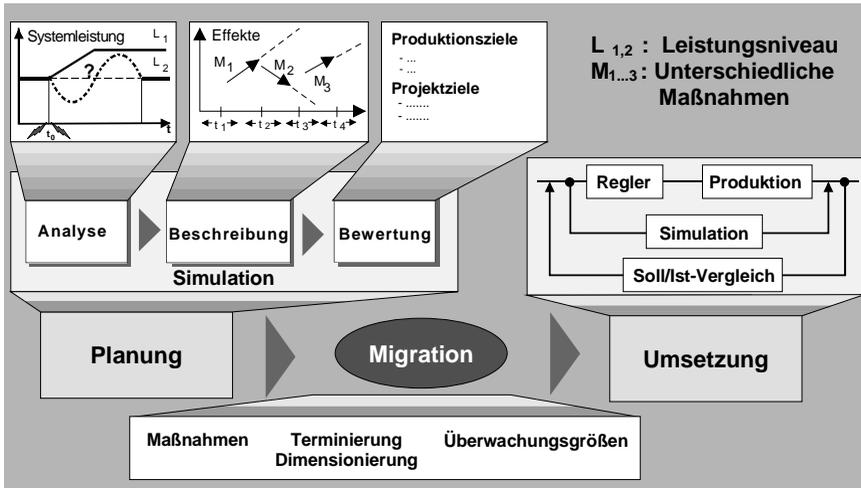


Abbildung 28: Planungsmethode für Struktur- und Strategieänderung

In der *Analysephase* wird zwischen zwei Ausgangssituationen unterschieden. Zum einen wird von einer geplanten Überführung des Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand ausgegangen, wie z.B. das Anlaufverhalten einer neuen Produktionslinie. Ausgehend von dieser Situation ist der Ausgangs- und Zielpunkt klar definiert und vorgegeben. Diese Situation ist in der Analysephase in Abbildung 28 durch eine durchgehende Linie (Leistungsniveau 1) dargestellt. Zum anderen können auch schwerwiegende Störungen während des Produktionsablaufs auftreten. Diese gilt es möglichst schnell zu identifizieren und anschließend zu beheben. Dabei ergibt sich als primäres Ziel zumindest die Erreichung des ursprünglichen Leistungsniveaus und eine möglichst geringes "Überschwingen" während der Systemrückführung (vgl. Abbildung 28: Analyse: gestrichelte Linie, Leistungsniveau 2). Im Zuge der *Beschreibung* (Bestimmung der einzelnen Maßnahmen) werden im wesentlichen folgende Aufgaben durchgeführt. Es werden die erfolgswirksamen *Maßnahmen identifiziert*, deren *zeitlichen Abfolge* bestimmt, sowie eine *Dimensionierung* (z.B. Anzahl von Lagerplätzen) vorgenommen. Abgeschlossen

wird der Planungszyklus durch die *Bewertung*. Die Bewertung wird zum einen durch die projektspezifischen Ziele (DLZ, Bestände, Termintreue etc.) vorgenommen zum anderen natürlich durch eine ökonomische Bewertung, d.h. die Kosten der Umplanung werden berücksichtigt. Das Ergebnis der Planungsmethode sind Maßnahmen, gekennzeichnet durch die Terminierung und Dimensionierung, sowie durch entsprechende Überwachungsgrößen zur Kontrolle während des Migrationsvorganges.

6.6 Phasen der Planungsmethode

Im folgenden soll eine von der jeweiligen Struktur des betrachteten Produktionssystems unabhängige und damit allgemeingültige Planungs- und Regelungsmethode für die zeitvariante Produktionsregelung vorgestellt werden. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei auf den Einsatz der Simulation zu legen, die sowohl planungs- als auch betriebsbegleitend eingesetzt wird. Dadurch soll einerseits die Migrationsstrategie bestimmt und andererseits die Umsetzung der einzelnen Maßnahmen überwacht werden. Die Planungsmethode enthält die vorab definierten Planungsschritte. Der Prozeß der Migrationsplanung unter ablauftechnischen Gesichtspunkten kann Abbildung 29 entnommen werden. Die Struktur dieser Abbildung dient als „Navigator“ für die nachfolgende Darstellung der Planungsmethode.

Phase I: Analyse

- Analyse der Ausgangslage;
- Festlegung des Soll- bzw. Ziel- Zustandes (aus den Planvorgaben oder der jeweiligen Notstrategie);
- Vergleich zwischen Soll- und Ist- Situation ergibt den Veränderungsbedarf;

Phase II: Beschreibung

- Ermittlung sinnvoller Migrationsstrategien inklusive der damit zusammenhängenden Maßnahmenliste;
- Bewertung der Migrationsstrategien hinsichtlich prinzipieller Realisierbarkeit;
- Auswahl der vielversprechendsten Alternativen (Stabilität des Überganges);

Phase III: Bewertung

- Bewertung der verbleibenden Alternativen mit Hilfe der Simulation (Bewertungskriterien: benötigte Zeit, verursachte Kosten: siehe Kapitel 7).
- Ermittlung der Führungsgrößen aus den Ergebnissen der Simulation (Strategie- bzw. Strukturänderungen).

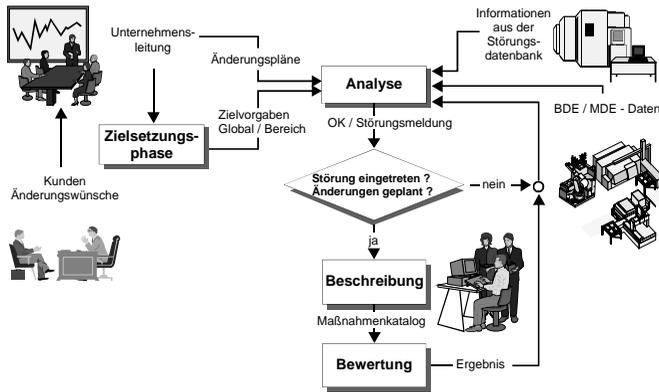


Abbildung 29: Planungssystematik für die Migration zeitvarianter Produktionssysteme

Ausgangspunkt für die Umplanung ist die Festlegung der Unternehmensziele. Diese müssen als Vorgabe für den Regler in entsprechende produktionsbezogene Ziele operationalisiert werden. Darüber hinaus können diese, je nach Größe des Unternehmens, weiter in Bereichsziele untergliedert werden.

Charakteristika dieser Zielgrößen sind der Zielinhalt (Größe und Richtung), das Zielmaß (Zielpunkt und Toleranzgrenzen) sowie der Zeitbezug (zeitpunkt- bzw. zeitraumbezogenes Ziel). Diese Vorgaben dienen in der sog. *Analysephase* als Soll-Größen. Sind keine Störungen aufgetreten, oder werden keine Änderungen der Charakteristika des Produktionssystems geplant, wird mit einer weiteren Analysephase fortgefahren. Im anderen Fall gilt es, in der *Beschreibungsphase* Maßnahmen zu ermitteln, mit deren Hilfe die Störungen beseitigt oder die geplanten Änderungen vollzogen werden können. Weiterhin kann auch die Anpassung der Zielvorgaben notwendig werden, falls sich aufgrund diverser Umstände ein Erreichen der bislang verfolgten Ziele als unmöglich erweist. Dann wäre ein erneuter Durchlauf der Zielsetzungsphase notwendig.¹² Im den folgenden Abschnitten werden die dargestellten Planungsphasen detailliert beschrieben.

¹² Wie noch gezeigt wird, sind innerhalb der Migrationsphase mit jedem Erreichen eines Meilensteines auch die Zwischenziele und Indikatoren neu festzulegen. Ein aus der Umplanungsphase erwachsender Zieländerungsbedarf trägt strategischen Charakter und bezieht sich auf vergleichsweise abstrakte logistische Zielgrößen, wie die beispielsweise der „Termintreue“, und nicht auf die Zwischenziele der Migrationsphase.

6.6.1 Analysephase

Die Analysephase beinhaltet im wesentlichen drei Schritte (vgl. Abbildung 30): Zunächst muß festgestellt werden, ob überhaupt eine Störung¹³ vorliegt. Dies übernimmt die *Störungsidentifikation* durch einen Vergleich der Soll- Werte verschiedener Zielkriterien mit den Ist-Werten aus der Produktion, welche durch die BDE bzw. MDE oder durch manuelle Meldungen zur Verfügung gestellt werden. Sollte eine Störung eingetreten sein, so ist diese durch die *Störungslokalisierung* zu spezifizieren, d.h. es sind die gestörte Funktion und der Ort der Störung zu ermitteln. Auch hier dienen wieder die BDE/MDE bzw. manuelle Meldungen als Informationslieferanten. Nachdem die Ursachen für die Störung ermittelt worden sind, kann eine Beurteilung der Konsequenzen erfolgen. Auf Basis der detaillierten Störungsinformation erfolgt nun eine *Störungsbewertung*. Dazu werden Informationen aus einer Störungsdatenbank (Abhängig vom Unternehmen) herangezogen bzw. mit Hilfe der Simulation erzeugt. Ergebnis dieser Bewertung ist eine Differenzierung der Störung oder Änderung hinsichtlich ihrer weiteren Auswirkungen in eine sog. leichte oder schwerwiegende Störung. Aufgrund der großen Bedeutung soll im weiteren die Störungsbewertung betrachtet werden.

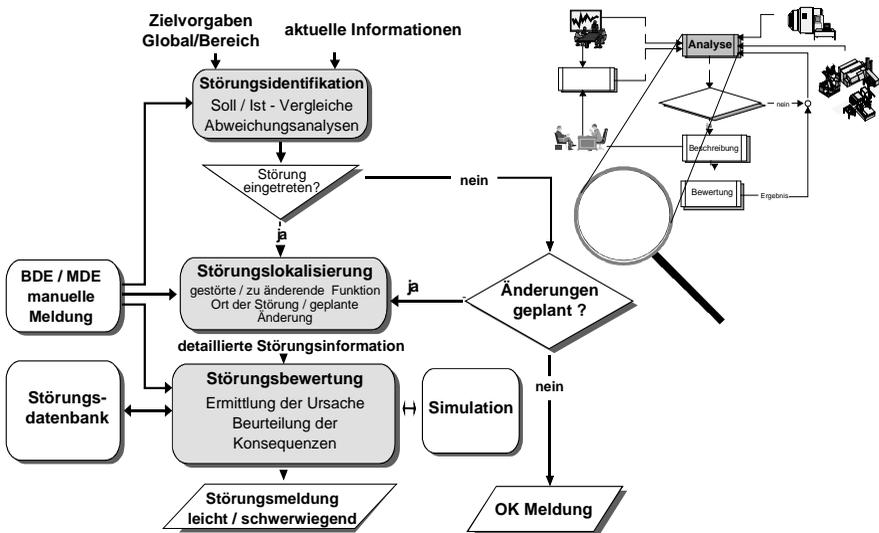


Abbildung 30: Analysephase

¹³ Störung im Sinne von gewollten (geplanten) als auch ungewollten Änderungen

Im Rahmen der Umsetzung der Planungsmethode (vgl. Kap. 8) wurde für die Analysephase ein deskriptives Kennzahlensystem (KZS) entwickelt. Das KZS selbst liefert Hinweise darauf, welcher Bereich innerhalb des Produktionssystems von einer Änderung eines Merkmals des KZS betroffen ist.

Dieses KZS wird im Rahmen von Umplanungsaktionen als Teil der *Planungsbasis* (vgl. Abbildung 33) angesehen. Weiters wird das Kennzahlensystem dazu benutzt, von der Art einer eingetretenen Änderung und ihrer Stellung innerhalb der Änderungssystematik ihre Konsequenzen im Hinblick auf das Produktionssystem zu quantifizieren. Dazu bietet dieses KZS erste Hinweise. Für jede Art von Änderungen werden dort die betroffenen Merkmale des KZS identifiziert. Sind die Auswirkungen somit bekannt, gelingt es auch, adäquate Maßnahmen zu deren

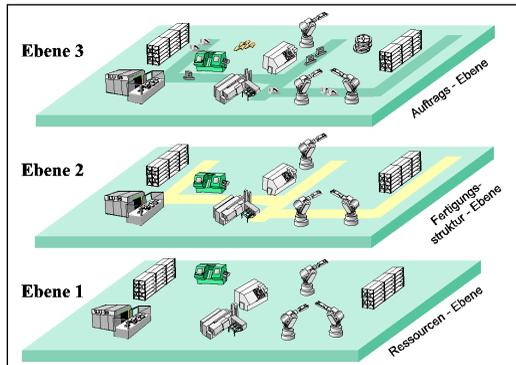


Abbildung 31: Struktur des Kennzahlensystems für zeitvariable Produktionssysteme

Behebung abzuleiten. Das hier gewählte Ebenenkonzept (vgl. Abbildung 31) ermöglicht eine Charakterisierung einer Vielzahl von realen Produktionsstrukturen.

Die *Ressourcen* (Ebene 1) umfassen alle relevanten körperlichen Elemente des Produktionssystems, welche in feste Elemente (Betriebsmittel wie Bearbeitungs-, Transport-, Handhabungs- und Lagersysteme) und bewegliche Elemente (Material) unterteilt werden.

Die Art und Weise des Zusammentreffens von beweglichen und festen Elementen kann durch Beziehungen zwischen den Elementen erklärt werden und sind als Erweiterung der ersten Ebene zu verstehen. Diese Relationen spiegeln sich in der *Fertigungsstruktur* (Ebene 2) wieder und sind hochgradig unternehmensindividuell.

Die *Ebene der Aufträge* (Ebene 3) schließlich umfaßt Merkmale zur Beschreibung von Konstellationen, die sich aus unternehmensindividuellen Fertigungsaufträgen ergeben. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde im weiteren die wirtschaftliche Bewertung von Migrationsstrategien durchgeführt.

Die Struktur des Kennzahlensystems kann dem Anhang 11.1 entnommen werden. Die Spalte "Merkmale" in den Tabellen enthält einzelne Merkmale und deren möglichen Ausprägungen. Die Kenntnis der Ausprägung jedes Merkmals allein ist als Planungsbasis unzureichend. Erst in Verbindung mit einer Zuordnung einzelner Merkmale auf ihre Einflüßbereiche, wie dies in der Spalte "Einflüßbereich" angestellt wurde, gelingt es,

die Bedeutung eines Merkmales für mögliche Umplanungsmaßnahmen zu quantifizieren.¹⁴

Zur Differenzierung hinsichtlich leichter und schwerwiegender Störungen werden Beurteilungskriterien benötigt, welche die Auswirkungen einer Änderung quantifizieren können. Dazu gilt es, die Stärke des Einflusses, der durch die Störung auf andere Funktionsbereiche, Arbeitssysteme und Mitarbeiter ausgeübt wird, zu bestimmen. Da die Beurteilung ein sehr aufwendiger und damit zeitintensiver Prozeß ist, sind Hilfsmittel, welche die gewünschte Klassifikation auf Basis von Erfahrungswissen über frühere Störungen vornehmen, hilfreich. Ein solches Hilfsmittel ist der Aufbau einer Störungsdatenbank, die neben der Art der aufgetretenen Störung eine detaillierte Liste aller davon betroffenen Funktionen und zu befürchtenden Konsequenzen enthält. Werden keine passenden Einträge in der Stördatenbank gefunden, müssen die Konsequenzen auf Basis eines der gestörten Produktion nachgebildeten Simulationsmodells ermittelt werden (MÖßMER 1998 B). Dies gelingt durch die Modellierung der gestörten Funktion anhand der Informationen aus der BDE/MDE. In Abbildung 32 wird die Störungsbewertung anhand der Simulation bzw. der Störungsdatenbank dargestellt.

Die Ergebnisse der Simulation dienen als Berechnungsgrundlage zur Ermittlung diverser logistischer Kennzahlen, die - verglichen mit den Zielvorgaben - einen Aufschluß über die Stärke der Konsequenzen liefern.

¹⁴ Der "Einflußbereich", den ein Merkmal auf das Produktionssystem ausübt, kann als Spielraum für Umplanungsmaßnahmen verstanden werden. Als Beispiel sei hier das Merkmal " I A 3: Sonstige Eigenschaften des Arbeitssystems" angeführt. Je nach qualitativer Flexibilität der Maschine bzw. deren Umfang an unterschiedlichen Bearbeitungsarten wird ihr Ausfall entweder weitreichende Konsequenzen haben oder auch nicht. Der Defekt einer hoch speziellen Anlage wird, sofern mehrere Arbeitsgänge unterschiedlicher Aufträge auf diese Maschine auszuführen sind, schwerere Auswirkungen nach sich ziehen als der Ausfall einer "einfachen" Bohrmaschine. Für die Ableitung möglicher Umplanungsmaßnahmen ist die Ausprägung dieses Merkmals auch für nicht betroffene Maschinen relevant, weil dadurch eine Abschätzung möglich wird, inwieweit die ausgefallenen Arbeitsinhalte prinzipiell durch Umplanung auf andere, sehr flexible Maschinen möglich ist. Diese Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Bestimmung geeigneter Umplanungsmaßnahmen.

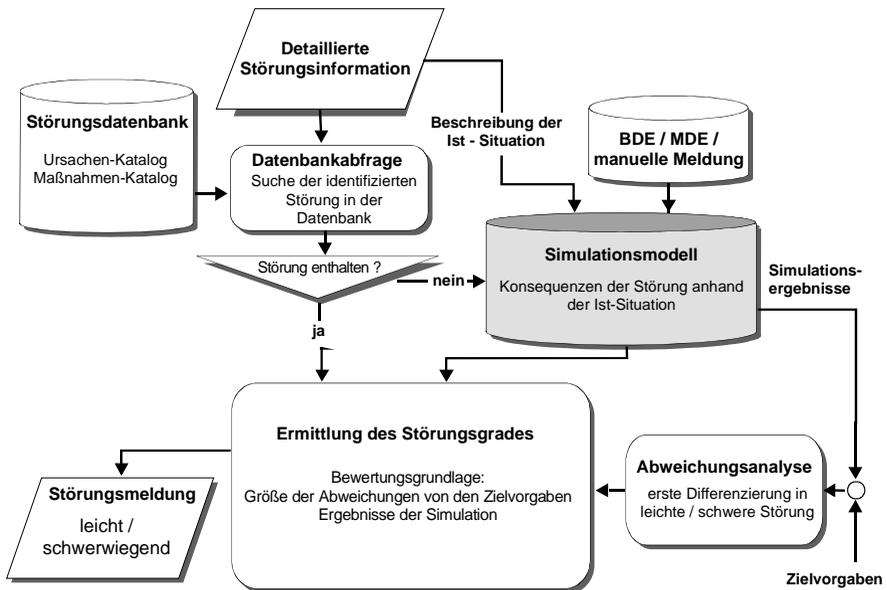


Abbildung 32: Analysephase: Störungsbewertung

6.6.2 Beschreibungsphase

Aufgabe der Beschreibungsphase ist es, abhängig vom Grad der Störung Maßnahmen abzuleiten, die in der Lage sind, die negativen Auswirkungen des Prozesses zu minimieren und das System in den gewünschten Zustand zu überführen.

Eine wesentliche Unterscheidung hinsichtlich der Zielsetzungen und des Vorgehens wird anhand des Störungsgrades getroffen.

Während bei *leichten Störungen* davon ausgegangen wird, daß die kurzfristige Rückführung des Produktionssystems in den ursprünglichen Betriebszustand mit konventionellen Steuerungseingriffen möglich ist, wird für *schwerwiegende Störungen* angenommen, daß dies nicht zu erreichen ist. Die Konsequenzen einer solchen Störung werden dabei als derart weitreichend angesehen, daß weder eine Beseitigung noch eine Kompensation möglich ist. In Konsequenz kann dies bedeuten, daß bzgl. der Aufträge ein Streichen geplanter oder bereits eingelasteter Arbeitsinhalte bzw. eine Hinzunahme neuer Inhalte unvermeidlich ist (vgl. Abbildung 33). Es gilt also, das Produktionssystem in einen neu-

en Betriebszustand überzuführen, um das ursprüngliche Produktionsprogramm wieder realisieren zu können. Damit eine Identifikation der eventuell zu streichenden Aufträge vorgenommen werden kann, wurde in Kapitel 8 ein Verfahren zur wirtschaftlichen Bewertung von Umplanungsmaßnahmen entwickelt.

Ein wichtiges Hilfsmittel für die Umplanungsaktionen stellt die entwickelte *Planungsbasis* dar, welche einerseits störungsunabhängige Informationen und Rahmenbedingungen für etwaige Umplanungen enthält, andererseits jedoch auch im Zuge der Analyse einer Störung bzw. Änderung um fallspezifische Informationen erweitert wird. Beispiele der Standard-Planungsbasis sind die Stell-Parameter der verschiedenen Steuerungsstrategien (BoA, KANBAN, Fortschrittzahlen, etc.) und die von den verschiedenen Organisationstypen (Werkstattfertigung: z.B. Prioritätsregeln) der Fertigung abhängigen „zulässigen“ Standard - Umplanungsmethoden. Den Input für die Planungsbasis kann dem Anhang 11.2 entnommen werden.

Entsprechend der *Systematisierung zeitvarianter Vorgänge* wie sie einleitend in Kap. 4 (vgl. Tabelle 4) beschrieben wurden, konnte die Planungsbasis dahingehend erweitert werden, daß die Interdependenzen für die Umplanungsmaßnahmen konkretisiert werden konnten.

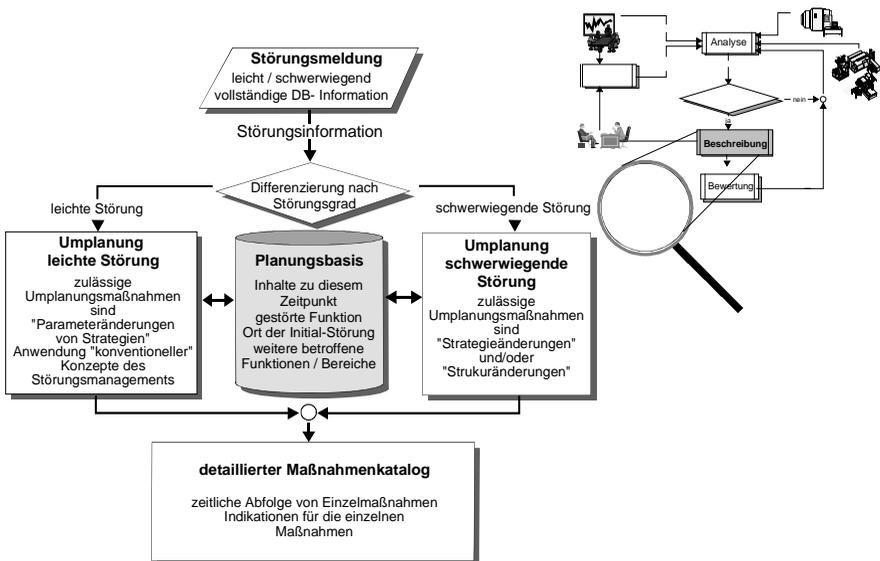


Abbildung 33: Beschreibungsphase: Übersicht

Je nach dem Betrachtungsgegenstand (leichte/schwere Störung) ergeben sich unterschiedliche Maßnahmen. Im folgenden wird eine Differenzierung und Beschreibung der Maßnahmen für diese Bereiche vorgenommen.

Im Fall einer leichten Störung (siehe Abbildung 34) wird als Planungsgrobziel die Rückführung des Produktionssystems in den alten Betriebszustand vorgegeben. Einzig eine unvermeidliche terminliche Verzögerung einzelner Aufträge wird toleriert.

Diese Terminverzögerungen sollten jedoch auf vergleichsweise weniger bedeutende Aufträge beschränkt bleiben. Um derartige Aufträge identifizieren zu können, müssen diese bewertet werden.

Im nächsten Schritt sind die für die Umplanungsmaßnahmen zu berücksichtigenden Handlungsbeschränkungen zu bestimmen. Diese ergeben sich aus den Charakteristika des konkret betrachteten Produktionssystems. Exemplarisch seien hierzu die Merkmale "Organisationstyp der Fertigung" oder das "Steuerungskonzept" angeführt. Beide machen je nach ihrer Ausprägung den Einsatz von diversen Standard-Umplanungsmaßnahmen unmöglich, so daß entsprechend der vorliegenden Beschränkungen aus der Methoden-toolbox geeignete Maßnahmen ausgewählt werden können. Diese Standard-Maßnahmen sind u.U. noch durch weitere flankierende Maßnahmen zu ergänzen, die entweder auf die Beseitigung der ursprünglichen Störung oder die Kompensation der Konsequenzen ausgerichtet sein können. Ergebnis der Umplanung ist der bereits erwähnte Maßnahmenkatalog.

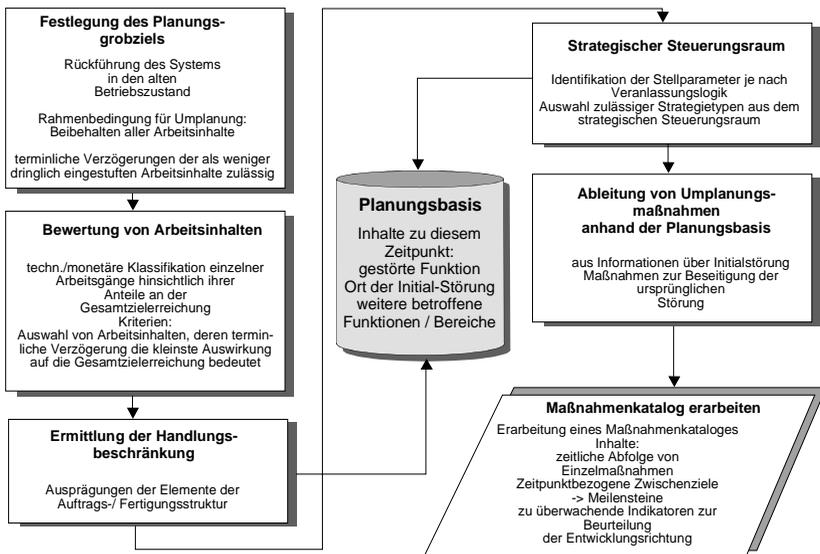


Abbildung 34: Beschreibungphase: Vorgehen bei leichter Störung

Im Fall einer schwerwiegenden Störung (siehe Abbildung 35) wird als Planungsgroßziel nicht mehr die Rückführung in den alten Betriebszustand angestrebt, sondern die Überführung in einen neuen Zustand. Dies erfordert zunächst Klarheit darüber, wie der neue Zustand quantifiziert werden kann. Die Charakterisierung gelingt hier wiederum mit Hilfe des deskriptiven Kennzahlensystems. Werden die Ausprägungen der einzelnen Merkmale des alten und des neuen Zustandes miteinander verglichen, können aus den Abweichungen Anhaltspunkte für mögliche Stellgrößen für die Migrationsdurchführung abgeleitet werden.

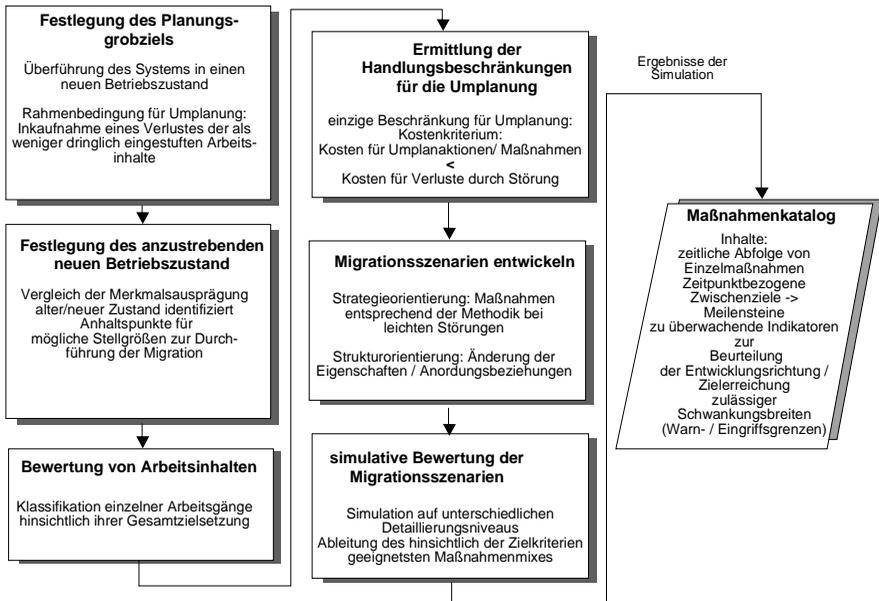


Abbildung 35: Beschreibungsphase: Vorgehen bei schwerer Störung

Das Ergebnis der Umplanungsphase ist ein ausführlicher Maßnahmenkatalog, der die zeitliche Abfolge von Einzelmaßnahmen, die genaue Beschreibung einzelner Meilensteine (zeitpunktbezogene Zwischenziele), die zu überwachenden Indikatoren zur Beurteilung der Zwischenzielsetzung sowie die zulässigen Schwankungsbreiten der Indikatoren (Warn- und Eingriffsgrenzen) enthält.

6.6.3 Bewertungs- und Migrationsphase

Aufgaben der letzten Phase (MÖßMER 1998 C) (siehe dazu Abbildung 36) sind die operative Umsetzung der einzelnen Maßnahmen sowie die Beobachtung der dadurch ausgelösten Veränderungen. Letztere dienen als Beurteilungskriterium für den Erfolg der Maßnahmen. Entsprechend der im Maßnahmenkatalog enthaltenen Informationen werden schrittweise einzelne Aktionen veranlaßt und im Zuge ihrer Durchführung die zu beobachtenden Indikatoren überwacht. Wird der angestrebte Meilenstein erreicht, so erfolgen die Veranlassung der jeweils folgenden Maßnahme sowie die Anpassung der zu beobachtenden Indikatoren. Treten Abweichungen außerhalb der zulässigen Schwankungsbreite auf, muß festgestellt werden, ob eine schwerwiegende Abweichung vom Migrationspfad vorliegt. Ist dies der Fall, erfolgt ein Rücksprung in die Umplanungsphase. Im anderen Fall wird versucht, die Abweichung lokal auszuregeln.

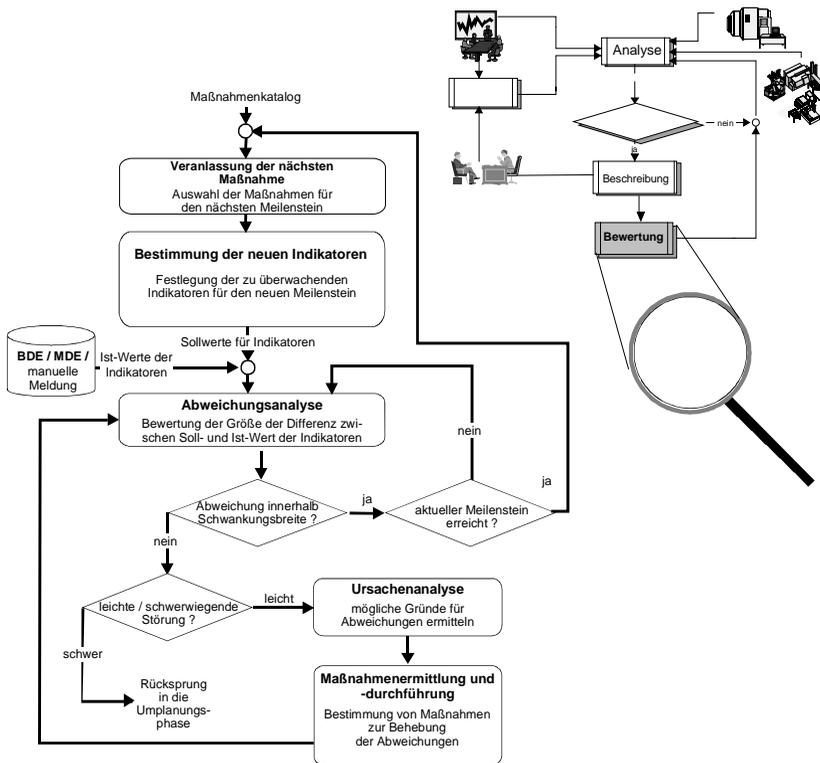


Abbildung 36: Migrationsphase

6.6.4 Darstellung eines Maßnahmenkataloges

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge bei der Umorganisation bzw. Störungsbehebung von Produktionssystemen sind dem Planer Hilfsmittel zur Verfügung zu stellen. Ein Hilfsmittel zur Erhöhung der Transparenz bei Änderungen ist die Bereitstellung eines *Maßnahmenkataloges*. Die Aufgabe dieses Maßnahmenkataloges ist es jedoch nicht, den Planer zu ersetzen, sondern vielmehr ihn in seinem Entscheidungsprozess zu unterstützen. Die Unterstützung ergibt sich für den Planer durch die transparente Darstellung der Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Maßnahmen.

Ziel des Maßnahmenkataloges für zeitvariable Produktionssysteme ist es, Maßnahmen zu beschreiben, die vom Planer beim Auftreten einer Fehlfunktion ergriffen werden können. Damit soll einerseits die Funktion des Produktionssystems wiederhergestellt und andererseits eine Veränderung des Systems eingeleitet werden können. Der zu erarbeitende Maßnahmenkatalog muß somit in der Lage sein, ein Produktionssystem hinsichtlich seiner zeitlichen Varianz zu beschreiben. Die zeitliche Varianz des Produktionssystems ergibt sich aus den Zuständen, die vom stationären Betrieb des Systems abweichen. Im Betrachtungsraum dieser Arbeit ergeben sich solche Änderungen durch Störungen innerhalb des Systems, z.B. Ausfall einer Bearbeitungsmaschine, oder durch die Implementierung von Uplanungsmaßnahmen, wie z.B. eine Layoutänderung in einer Werkstattfertigung.

Die Systembeschreibung muß daher die *Bestandteile* des Systems erfassen und bestimmen, welche störungsanfällig und/oder umplanbar sind. Abbildung 37 zeigt den erweiterten Handlungsspielraum für zeitvariable Produktionssysteme.

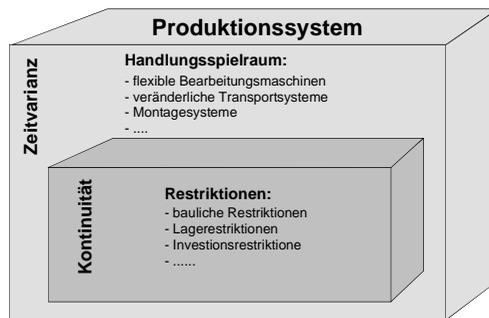


Abbildung 37: Erweiterter Handlungsspielraum für zeitvariable Produktionssysteme

Dabei wird differenziert zwischen der *Kontinuität* und der *Zeitvarianz*. Die Kontinuität des Produktionssystems beschreibt jene Bestandteile des Systems die nicht geändert werden können (z.B. bauliche Restriktionen für die Aufstellung einer Bearbeitungsmaschi-

ne). Die Bestandteile die nicht veränderbar sind legen die Handlungsgrenzen (Restriktionen) für mögliche Umplanungen fest.

Die zeitliche Varianz des Systems ergibt sich aus den Bestandteilen von denen eine Störung ausgehen kann. Im weiteren ist es, notwendig anhand einer Beschreibung dieser Bestandteile, deren Eigenschaften umfassend zu definieren. Ausgehend von den zu definierenden Bestandteilen (Systemelemente) können dann die Maßnahmen zu einer Umorganisation bzw. Überführung in einen neuen Betriebszustand ermittelt und beschrieben werden.

6.6.4.1 Identifikation der Systemelemente

Damit die für die Umplanung bzw. Regelung von Produktionssystemen notwendigen Maßnahmen vollständig identifiziert werden können ist es notwendig das gesamte Produktionssystem zu beschreiben und die einzelnen Beschreibungselemente, die dieses ausmachen, zu erfassen. Hierzu bieten bestehende systemtechnische Ansätze erste Anhaltspunkte zur Beschreibung. Die von Wieneke-T. 1987 (vgl. auch Abschnitt 3.5.3) allgemeine Gliederung von Produktionssystemen vereint funktionale und strukturelle Aspekte zu einer umfassenden Beschreibung des Systems. Dabei wird das System ganzheitlich analysiert und durch die strukturierte Vorstellung von *Elementen*, *Relationen*, *Attributen* und *Funktionen* eine detaillierte Beschreibung des Produktionssystems und dessen Beziehungen ermöglicht. Die *Elemente* werden dabei in *permanente*, also solche die sich ständig im System befinden und *temporäre*, solche die nur vorübergehend im System sind, unterteilt. Die *Relationen* beschreiben die Auswirkung, welche die einzelnen Elemente eines Produktionssystems aufeinander ausüben. Mit Hilfe der *Attribute* werden die problemrelevanten Eigenschaften der Elemente des Systems beschrieben.

Die anzuwendende Beschreibung für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme wird, ähnlich wie der systemtechnische Ansatz, zunächst die einzelnen Elemente des Produktionssystems identifizieren und durch ihre Attribute beschreiben. Es erscheint jedoch nicht als sinnvoll, in *permanente* und die *temporäre* Elemente zu differenzieren, sondern ferner die Definition der **statischen** und der **dynamischen** Elemente einzuführen.

Statische Elemente

Statische Elemente sollen als solche Elemente des Systems definiert werden, die nicht bzw. nur mit großem Aufwand verändert werden können. Um die Definition der *statischen* Elemente besser beschreiben zu können, werden im folgenden einige Restriktionen für die Festlegung dieser Elemente definiert. Statische Elemente sind nur schwer veränderbar, gar nicht oder nur sehr selten Ursache einer Störung und kein aktiver Bestandteil von Umplanungen, nicht beweglich und nicht erweiterbar bzw. aufrüstbar. Dieser Typ von Element ist kein aktiver Bestandteil von Umplanungen, legt jedoch den aktiven Spielraum für Umplanungen fest. Das heißt die statischen Elemente bilden die erwähnten Restriktionen ab (vgl. Abbildung 37).

Dynamische Elemente

Dynamische Elemente sind die Komponenten des Produktionssystems, die ausgehend von einer Fehlfunktion des Elements eine Störung herbeiführen und außerdem Teil einer Umplanung sein können. Als Merkmale dynamischer Elemente werden daher die Attribute störungsanfällig, veränderbar bzw. aufrüstbar und beweglich definiert. Die Menge der dynamischen Elemente stellt daher die Zeitvarianz des gesamten Produktionssystems dar. Unter dieser Prämisse soll daher in folgenden Abschnitten die Beschreibung der *dynamischen* Elemente erfolgen.

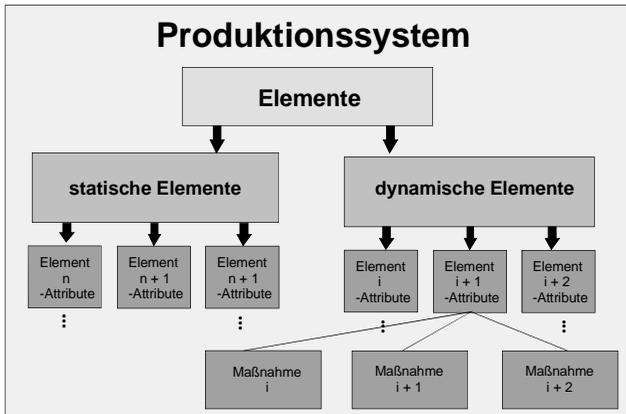


Abbildung 38: Strukturierung des zeitvarianten Produktionssystems

Die in Abbildung 38 dargestellte Strukturierung eines Produktionssystems bildet die Grundlage der angewendeten Betrachtungsweise. Die Elemente des Systems werden in statische und dynamische Elemente unterteilt. Im weiteren werden die dynamischen, also die auf die Zeitvarianz des Systems einflußnehmenden Elemente durch ihre Attribute beschrieben.

Wie Abbildung 39 zeigt, werden die dynamischen (zeitvarianten) Elemente durch folgende Klassifikation beschrieben. Die Elemente werden durch Klassen der Komponenten definiert. Für die vorliegende Arbeit wurden folgende Elemente definiert: *Bearbeitungssystem*, *Qualitätssicherungssystem*, *Transportsystem*, *Montagesystem* und *Lagersystem* (vgl. Anhang 11.2.3). Die folgenden Ausführungen und das Anwendungsbeispiel für den Maßnahmenkatalog beziehen sich auf das Element "Bearbeitungssystem". Das Element wird in seine Bestandteile (Komponenten) aufgelöst und durch diese determiniert. Als Komponenten für das Bearbeitungssystem wurden die einfache Bearbeitungsmaschine (Durchführung einzelner Bearbeitungsaufgaben z.B. Drehen, Fräsen, etc.) sowie das Bearbeitungszentrum spezifiziert. Die einzelnen Komponenten des Elements werden durch die Klassen der internen und der externen Attribute ausgedrückt

und diese wiederum in die Subklassen der gemeinsamen und der spezifischen Attribute unterteilt. Die internen Attribute legen die komponentenspezifischen Eigenschaften fest. Daher sind die internen Attribute *Kapazität* und *Belegung* beiden Komponenten (Bearbeitungsmaschine und Bearbeitungszentrum) gemeinsam, während die *Aufrüstbarkeit* eines Bearbeitungszentrums sowie die implementierte *Bearbeitungsart* einer Bearbeitungsmaschine als komponentenspezifische Attribute anzusehen sind. Die Peripherie der Komponente, also die Schnittstelle der Komponente zum System soll durch die externen Attribute definiert werden. Diese gemeinsamen Attribute bezeichnen beispielsweise den Vorgänger und den Nachfolger einer Komponente im Fertigungsablauf. In Abbildung 44 sind sämtliche Attribute in tabellarischer Form für das Bearbeitungssystem dargestellt.

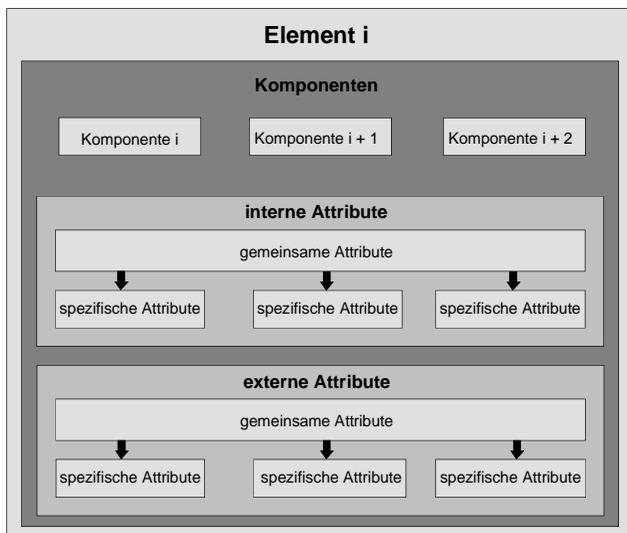


Abbildung 39: Beschreibung der zeitvarianten Elemente

Die dynamischen Elemente, welche die zeitliche Varianz von Produktionssystemen bilden, können durch die vorgestellte Systematik beschrieben werden. Im folgenden wird dargestellt, welche Maßnahmen für die Umplanung der dynamischen Elemente ergriffen werden können.

6.6.4.2 Definition der Maßnahmen

ZEUTRÄGER 1998 definiert Maßnahmen als Aktivitäten, welche nach dem Auftreten eines Ereignisses ergriffen werden um einen suboptimalen Sachverhalt und/oder die zugrund-

liegende Ursache(n) zu beheben. Durch die Dokumentation der durchgeführten Maßnahmen wird eine Bewertung der Effizienz möglich, wodurch das Vorgehen bei wiederauftreten des selben Ereignisses optimiert werden kann. Maßnahmenbeschreibungen sollen der Unterstützung der Problembehebung dienen. Anhand einer detaillierten Maßnahmenbeschreibung kann das Ausmaß einer Störung kompetent abgeschätzt und somit eine ungefähre Kostenzuweisung erstellt werden (vgl. Kap. 7).

Eine Maßnahme wird, nach Abbildung 40 durch **Beschreibungen**, **Klassifikation** und **Verweise** charakterisiert. Die **Beschreibungen** bestehen aus Identifikationsnummer, einer textuellen Darstellung der durchzuführenden bzw. durchgeführten Aktivitäten, Angaben zu den bei der Umsetzung der Maßnahme angefallenen Personal- und Kostenaufwandes und einer Abschätzung der Durchführungsdauer. Die **Verweise** verbinden die Maßnahme mit dem zugrundeliegenden Ereignis, beinhalten die maßgeblichen Daten für das Informationssystem des Produktionssystems und erfassen somit die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Charakteristika des Modells (1:n - Beziehung). **Klassifikationen** sind zur Analyse bzw. zur Einordenbarkeit der Maßnahmen gedacht. Bei der Klassifizierung *Bedeutung* wird zwischen Kann- Maßnahmen, also solchen die vom Planer optional durchgeführt werden können, und Muß-Maßnahmen, solchen die zwingend ausgeführt werden müssen, unterschieden. Die *Relevanz* klassifiziert die Auswirkungen der Maßnahme auf ein Subsystem und/oder das gesamte Produktionssystem. Mittels der übrigen Klassifikationen können der erzielte *Erfolg*, sowie die Höhe der entstandenen *Kosten* ermittelt werden. Zusätzlich wird die Verantwortung für die Kosten, also der Kostenträger, sowie die Kostenursache festgestellt.

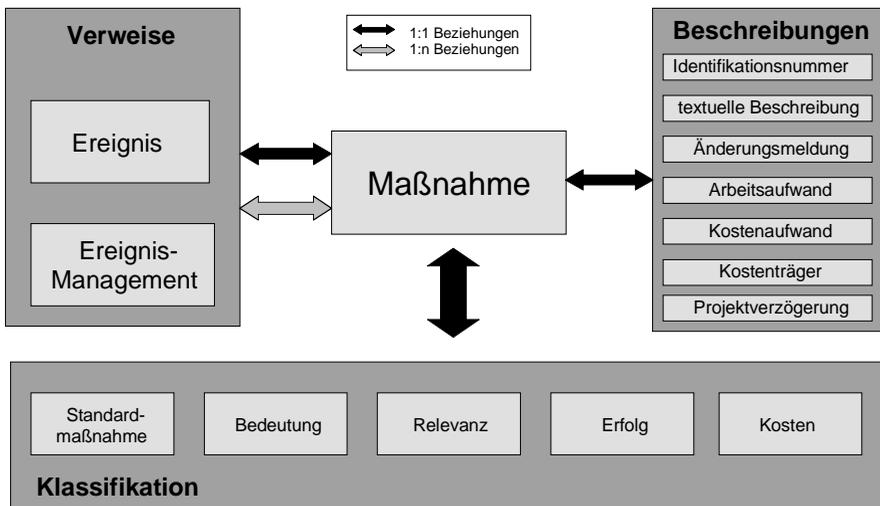


Abbildung 40: Modellieren von Maßnahmen (nach Zeugträger 1998)

Der vorgestellte Ansatz verfolgt die Absicht, Maßnahmen die bereits implementiert worden sind zu katalogisieren, um den bei der Durchführung dieser Maßnahme erzielten Erfolg zu bewerten. Aufgabe der Untersuchung für zeitvariante Systeme ist es aber einen Maßnahmenkatalog zu gestalten, mit welchem der Planer auf etwaige Störungen oder Umplanungen reagieren kann. Durch den Maßnahmenkatalog werden mehrere Migrationsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt. Die Maßnahmen ermöglichen eine genaue Beschreibung der Schritte, die notwendig sind, um eine Veränderung an einem bestimmten Element bzw. einer Komponente des Elements bewerkstelligen zu können.

Als sinnvoll erscheint es im weiteren die Maßnahmen von den in vorherigen Abschnitt festgelegten Attributen der Elemente abzuleiten. Dabei wird, wie in Abbildung 41 aufgezeigt, von den **Elementen** (z.B. Bearbeitungssystem) und den dazugehörigen **Komponenten** (Einzelbearbeitung bzw. Bearbeitungszentrum) ausgegangen. Die Komponenten sind durch ihre **internen** und **externen** Attribute definiert worden. Die Maßnahmen, welche durchzuführen sind werden von den Attributen einer jeden Komponente abgeleitet.

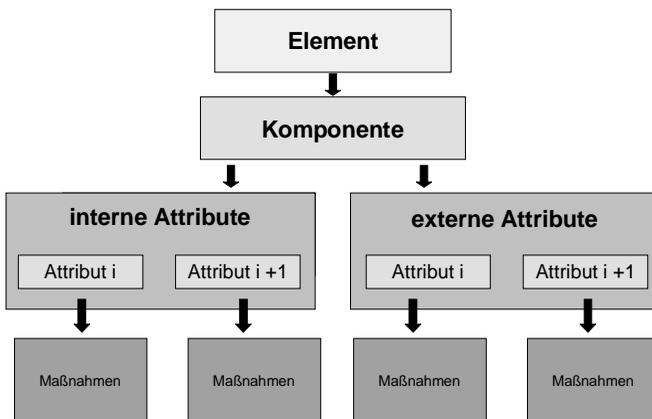


Abbildung 41: Vorgehenskonzept für die Ableitung von Umplanungsmaßnahmen

Von der ursprünglichen Maßnahmenmodellierung (ZEUGTRÄGER 1998) werden die Charakteristika **Beschreibung**, **Verweise** und **Klassifikationen** übernommen, jedoch durch sinnvolle Zusätze betreffend der Zeitvarianz ergänzt. Die **Beschreibung** der Maßnahmen muß keine Identifikationsnummer enthalten aber komplementär zu der textuellen Beschreibung noch die genaue Reihenfolge der durchzuführenden Schritte beinhalten. Teil der Beschreibung ist zusätzlich der Arbeitsaufwand bzw. die Migrationszeit und die Höhe der veranschlagten Kosten. Die Beschreibung soll nicht nur die Maßnahmen angeben die zur Änderung eines Attributes notwendig sind, sondern überdies alle weiteren Attribute bzw. Komponenten erfassen, die durch die Implementierung der Maßnahme

beeinflusst werden. Die **Verweise** ordnen, wie vorher bereits aufgezeigt wurde, die Maßnahme eindeutig einem oder mehreren Komponenten bzw. Attributen zu. Durch die **Klassifikation** wird geprüft, ob die Maßnahme standardisierbar ist oder bei jeder Durchführung einen Spezialfall darstellt. Da die Änderungen die am Produktionssystem vorgenommen werden, festgelegte Vorgehensweisen darstellen, ist es nicht sinnvoll die *Bedeutung* anhand von Kann- und Muss-Maßnahmen zu differenzieren. Als *Relevanz* werden die Auswirkungen definiert, welche auf andere Elemente des Produktionssystems Auswirkungen haben.

Die Definition von Maßnahmen erfolgt, wie in Abbildung 42 aufgezeigt, durch die Charakteristika **Verweise**, **Klassifikation** und **Beschreibung**. Die umzuplanenden Komponente, sowie das zu verändernde Attribut werden in die Gruppe der **Verweise** eingeordnet. Dabei wird festgehalten, welche Maßnahme durch eine Veränderung eines Attributes einer Komponente ausgelöst wurde.

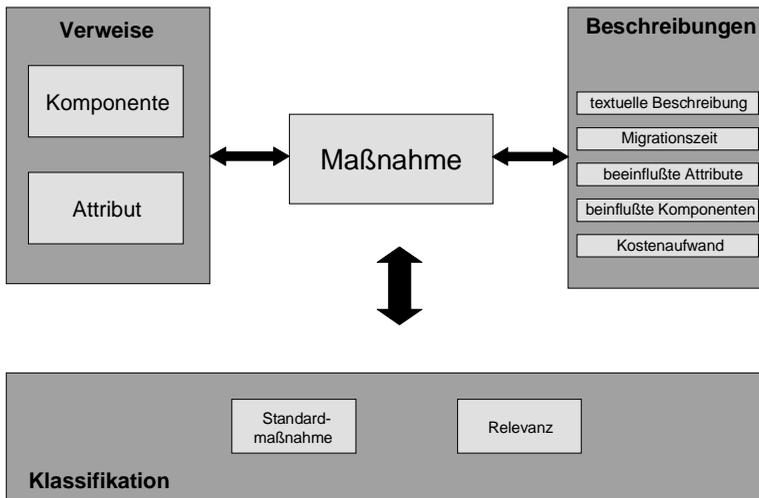


Abbildung 42: Maßnahmen zur Beschreibung der Migration

Die **Klassifikation** *Standardmaßnahme* bezeichnet die Maßnahmen, welche nach einem bestimmten Schema ausgeführt werden können, wie z.B. die Integration einer zusätzlichen Bearbeitungsmaschine in den Fertigungsablauf, und solche, welche einen Spezialfall darstellen. Der Spezialfall ist gekennzeichnet durch seine Einmaligkeit und einer großen Menge von Einzelmaßnahmen, wie z.B. die Umorganisation der Fertigung während des laufenden Betriebes. Die *Relevanz* der Maßnahme erfasst, wie sich die Änderung der betroffenen Komponente auf die Schnittstellen der anderen Komponente(n) auswirkt. Gegebenenfalls ist eine Verknüpfung mit einer weiteren Maßnahme notwen-

dig. Eine solche Verknüpfung kann sich, wie noch später am Beispiel dargestellt wird, durch die Standortänderung einer Bearbeitungsmaschine ergeben. Die zusätzlich betroffenen Komponenten (z.B. Unstetig-Förderer) ergeben sich aus dem Element *Transportsystem* (vgl. Abbildung 43).

Die **Beschreibung** der Maßnahmen besteht aus einer *textuellen Beschreibung*, welche die Durchführungsschritte, sowie deren Reihenfolge vorgibt. Durch die Erfassung der *Migrationszeit* kann der Planer eine Abschätzung hinsichtlich der zeitlichen Durchführbarkeit der Umplanung treffen. Die Erfassung der weiteren *Attribute* oder *Komponenten*, die bei der Implementierung einer Umplanungsmaßnahme beeinflusst werden, ist eine Voraussetzung für die Definition der *Relevanz* der Umplanung. Der *Kostenaufwand* für die Ausführung der Maßnahme ist ein entscheidendes Kriterium für oder gegen die Durchführung einer Umplanung.

Im vorhergehenden Abschnitt wurde allgemein das Beschreibungskonzept für Maßnahmen aufgezeigt. Dabei wurde die Definition der Maßnahmen in die Bereiche **Verweise**, **Klassifikation** und **Beschreibung** unterteilt. Diese Unterteilung wird in dem nachfolgenden Beispiel (vgl. Abbildung 43) wiedergegeben. Die Tabelle stellt einen Ausschnitt aus der Maßnahmentabelle für das Element Bearbeitungssystem dar. Den Ausgangspunkt für die Umplanung bildet die Änderung der bestehenden Fertigungsstruktur (Austausch einer Bearbeitungsmaschine, speziell eine Fräsmaschine).

Die **Verweise** enthalten die umzuplanende *Komponente* (Einzelmaschine) sowie das *Attribut* (Aufstellungsort) von welchem sich die durchzuführende Maßnahme ableitet (vgl. Abbildung 41). Die beispielhafte Umplanung der *Komponente* Einzelbearbeitungsmaschine betrifft das *Attribut* Aufstellungsort.

Die **Klassifikation** definiert die *Standardmaßnahme* "Einsatzort ändern/Komponente austauschen" und zeigt durch die *Relevanz*, die mögliche Beeinflussung des Elements *Transportsystem* auf. Die Maßnahmen zur Umgestaltung des Transportsystems müssen gegebenenfalls der Maßnahmenbeschreibung für die betroffene Komponente des Transportsystems entnommen werden (vgl. Anhang 11.2.3).

Die **Beschreibung** der Maßnahme gliedert sich in die *textuelle Beschreibung*, die *Migrationszeit*, die *beeinflussten Attribute*, die *beeinflussten Komponenten* sowie den *Kostenaufwand*. Die *textuelle Beschreibung* gibt die bei der Umplanung durchzuführenden Schritte vor. Die *beeinflussten Attribute* dokumentieren weitere Attribute der Komponente, die durch die Durchführung der Maßnahme „Einsatzort ändern/Komponente austauschen“ beeinträchtigt werden können und ihrerseits Umplanungen erfordern.

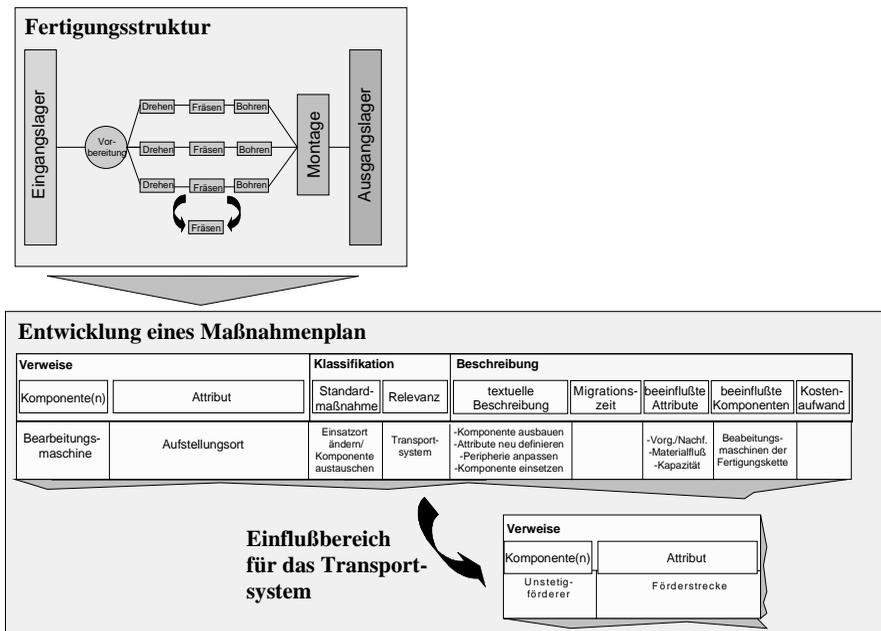


Abbildung 43: Austauschen einer Komponente (Bearbeitungsmaschine)

Auch die *beeinflussten* Komponenten müssen möglicherweise an die umgeplante Umgebung angepaßt werden. Die dazu notwendigen Maßnahmen können der in Abbildung 44 gezeigten Maßnahmentabelle für das Element Bearbeitungssystem entnommen werden.

Darstellung der Planungsmethode

	Verweise		Klassifikation		Beschreibung						
	Komponente(n)	Attribut	Standardmaßnahme	Relevanz	textuelle Beschreibung	Migrationszeit	beeinflusste Attribute	beeinflusste Komponenten	Kostenaufwand		
Bearbeitungssystem	Bearbeitungs- maschine	gemeinsame	Aufstellungsort	Einsatzort ändern/ Komponente austauschen	Transport-system	-Komponente ausbauen -Attribute neu definieren -Peripherie anpassen -Komponente einsetzen	Erfahrungswerte	-Vorg./Nachf. -Materialfluß	-Kapazität	Bearbeitungs- maschinen der Fertigungskette	Erfahrungswerte
			bearbeitete Bauteile	Produktpalette ändern	-Transportsys -Lager -Handl.-sys.	-Bearbeitungszeiten festlegen -Materialfluß anpassen		-Vorg./Nachf. -Materialfluß -Belegung	Verteilung der Bearbeitungs- aufgaben		
			Fertigungszeiten	Bearbeitungs- velozität variieren	-Transport-system -Lager	-Bearbeitungszeiten festlegen -Materialfluß anpassen		-Vorg./Nachf. -Materialfluß -Kapazität	Bearbeitungs- maschinen der Fertigungskette		
			Kapazität	betrifft Aufrüsten oder Austausch der Komponente							
			Belegung	Belegung erhöhen/ senken	-Transport-system	-Materialfluß erhöhen/ senken (Kapazität) -Umgebung anpassen		-Vorg./Nachf. -Materialfluß	Bearbeitungs- maschinen der Fertigungskette		
	Bearbeitungs- zentrum	spezifische	MTTR, MTBF,	Umplanungskriterien							
	Bearbeitungs- zentrum		Aufrüstbarkeit	Aufrüsten	-Transport-system -Lager	-Aufrüsten -Arbeitsreihenfolge umplanen	-Vorg./Nachf. -Materialfluß	Bearbeitungs- maschinen der Fertigungskette			
	Einzel- bearbeitung		Bearbeitungsart	Komponente austauschen	-Transportsys -Handl.-sys.	-Bearbeitungsart ändern -Neue Bearbeitungs- reihenfolge festlegen	-Vorg./Nachf. -Materialfluß	Bearbeitungs- maschinen der Fertigungskette			
	Einzel- bearbeitung	externe Attribute	gemeinsame	Vorgänger	Komponente auf Vorgänger oder Nachfolger abstimmen	-Transport-system -Lager	-Bearbeitungsart für Fertigungsprozess definieren -Belegung und Bear- beitungszeiten anpassen -gegebenenfalls Puffer vorsehen	-Belegung -Bearbeitungsart -Fertigungszeiten	Bearbeitungs- maschine im Umfeld des Umplanungs- raumes		
				Nachfolger							
Materialfluß				Materialfluß erhöhen/ senken	-Lager	-Belegung erhöhen /senken bzw. Puffer einsetzen/entfernen	-Belegung	-betroffene Bearbeitungs- maschinen			

Abbildung 44: Tabellarische Darstellung der Maßnahmen für das Element Bearbeitungssystem

Der *Verweis* wird durch die betrachtete(n) Komponente(n) und die jeweiligen Attribute beschrieben. Die Attribute werden in die Klassen der internen und externen Attribute, sowie in die Subklassen der gemeinsamen und spezifischen Attribute eingeordnet. Die *Klassifikation* kennzeichnet durch das Merkmal Standardmaßnahme die im Maßnahmenkatalog ausgeführten Maßnahmen und stellt durch die Relevanz eine Verknüpfung mit den Maßnahmenkatalogen anderer Elemente her. Die *Relevanz* berücksichtigt die anderen Elemente des Produktionssystems, welche bei der Umplanung eines Elements beeinflusst werden (vgl. Anhang 11.2.3). Die Beschreibung untergliedert sich in die Merkmale textuelle Beschreibung. Dadurch kann eine stichpunktartige Abfolge der Maßnahmen gewährleistet werden. Die Migrationszeit sowie der entstehende Kostenaufwand sind Größen, die anhand von Erfahrungswerten bzw. der Simulation ermittelt werden. Die vertikale Unterteilung der Tabelle setzt sich aus den Attributen des Bearbeitungssystems zusammen. Dabei werden die Attribute von denen eine Umplanung ausgehen kann durch die Maßnahmendefinition beschrieben.

Der vorgestellte strategische Steuerungsraum nach ZÜLCH (Abschnitt 5.7, Abbildung 25) wird im folgenden um weitere Strategien zur Regelung zeitvarianter Produktionssysteme erweitert. Die Notwendigkeit hierfür wird anhand des beispielhaften Maßnahmenkatalogs für die Bearbeitungsmaschine (vgl. Abbildung 44) aufgezeigt.

Phasen der Planungsmethode

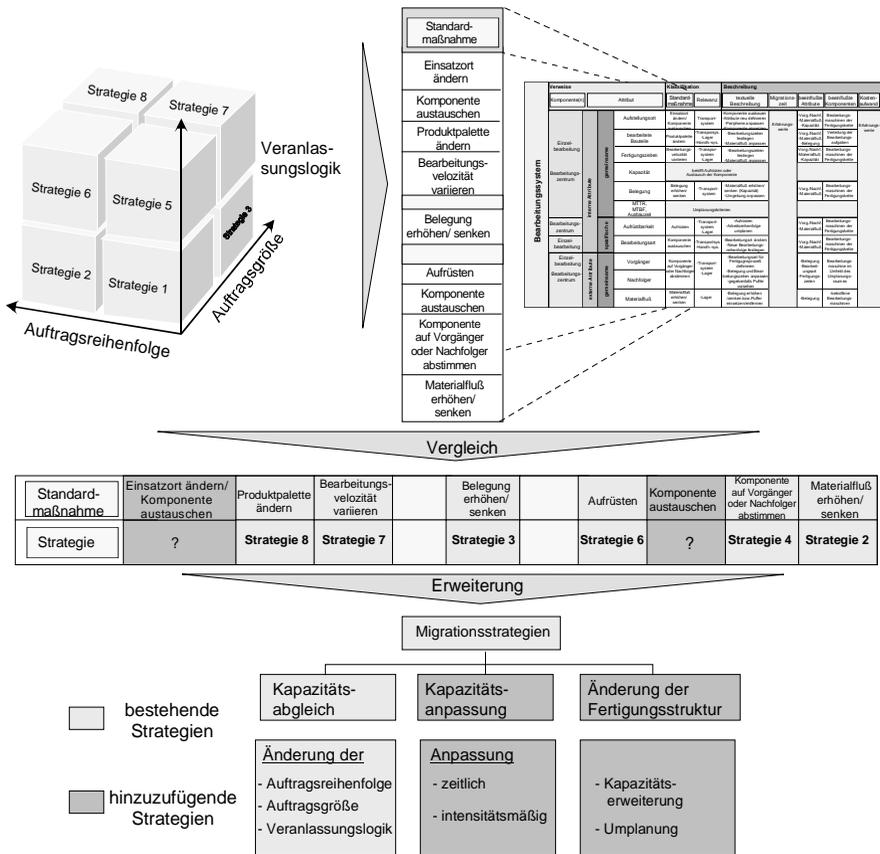


Abbildung 45: Erweiterung des strategischen Steuerungsraumes nach Zülch

Es wurde untersucht, ob die für das Bearbeitungssystem aufgezeigten *Standardmaßnahmen* den von ZÜLCH vorgestellten Steuerungsstrategien entsprechen, d.h. ob sämtliche Maßnahmen durch das Variieren der Steuerungsparameter Auftragsreihenfolge, Auftragsgröße und Veranlassungslogik vollzogen werden können.

Nach Abbildung 45 entspricht daher die Maßnahme "Belegung erhöhen" der Steuerungsstrategie 3, bei welcher der Parameter Auftragsgröße verändert wird. Die Maßnahme "Produktpalette ändern" kann durch die Strategie 8 durchgeführt werden, die sich durch das Ändern der Auftragsreihenfolge, Auftragsgröße und Veranlassungslogik auszeichnet. Die Maßnahme "Komponente austauschen" kann jedoch nicht mit Hilfe der angebotenen Steuerungsstrategien durchgeführt werden. Es ist daher notwendig, den

strategischen Steuerungsraum um zusätzliche Dimensionen zu erweitern, um der Dynamik von Produktionsstrukturänderungen gerecht werden zu können. Wie in Abbildung 45 dargestellt, werden hierzu komplementär zum Kapazitätsabgleich die zeitliche und intensitätsmäßige Kapazitätsanpassung sowie die Änderung der Produktionsstruktur als weitere Methoden der Steuerung von zeitvarianten Produktionssystemen eingeführt, und somit wird auch die Methoden-Toolbox erweitert. Die hier dargestellte Methoden-Toolbox bildet auch die Ausgangsbasis für die wirtschaftliche Bewertung von Migrationsstrategien, welche im Kap. 7 näher beschrieben wird.

6.7 Zusammenfassung

Um den hoch komplexen und in der Regel unstrukturierten Problemen im Bereich der Produktionsregelung im Rahmen der Planung gerecht werden zu können, wurden folgende Forderungen für die entwickelte Planungsmethode umgesetzt:

- Ermittlung von geeigneten Führungsgrößen sowohl bei statischem, als auch bei dynamischem Betrieb
- Prognose der Auswirkungen der gewählten Maßnahmen.
Der hohen Komplexität und vielfach unbekanntem Interdependenzen einzelner Maßnahmen wegen erscheint die Simulation als das Mittel der Wahl zur Wirkungsprognose und Beurteilung der Planungsgüte am geeignetsten. Zur Quantifizierung der Simulationsergebnisse wurden spezielle Zustandsvariablen als Maßgrößen zur Beschreibung des Fortschrittes des Übergangsprozesses festgelegt, welche durch ein Kennzahlensystem zur Verfügung gestellt werden könnten.
- Exakte Beschreibung des Migrationsvorganges.
Dazu wurde eine Methode zur zeitlichen Abfolge einzelner Maßnahmen entwickelt. Diese Maßnahmen determinieren die zu beobachtenden Zustandsvariablen. Neben dem Maßnahmenplan gilt es auch, die einzelnen Übergänge sowie Abhängigkeiten zu beschreiben.

7 Ökonomische Bewertung von Migrationsstrategien

7.1 Ziel und Vorgehensweise

Ziel der ökonomischen Bewertung von Migrationsstrategien ist es nicht, ein neues Kostenrechnungsverfahren zu entwickeln, sondern ausgehend von bestehenden Ansätzen die entscheidungsrelevanten Kostenarten zu identifizieren und mit einem geeigneten Verfahren die Kosten verursachungsgerecht den einzelnen Kostenträgern, sprich den Migrationsstrategien, zuzurechnen.

Dazu werden die üblichen Kostenrechnungsverfahren anhand der spezifischen Anforderungen für die Migrationsbewertung untersucht und bewertet. Bei der Analyse findet eine Differenzierung in Voll- und Teilkostenrechnungsverfahren statt. Im weiteren werden die identifizierten Kostenrechnungsverfahren auf den im Kap. 5 beschriebenen "Strategischen Steuerungsraum" angewendet und um die speziellen Anforderungen der Struktur- und Strategieänderungen erweitert. Ergebnis der ökonomischen Bewertung ist eine Darstellung der relevanten Kostenarten zur Bewertung von Migrationsstrategien.

7.2 Bewertung von Migrationsstrategien

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Daten ermittelt, die zur Bestimmung der durch einen Migrationsvorgang im Fertigungsbereich verursachten Kosten benötigt werden. Dazu werden die Kosten näher betrachtet, die bei den verschiedenen Entscheidungen über die in der Fertigung anstehenden Aufträge und die Umverteilung dieser Aufträge relevant sind. Relevant sind nach *Riebel* die Kosten, die direkt durch eine Entscheidung beeinflusst werden. Für die hier vorliegende Problemstellung sind jeweils nur die Änderungen der Kosten zu berücksichtigen, da stets die durch den Migrationsvorgang anfallenden Mehr- oder Minderkosten als Entscheidungsgrundlage dienen sollen.

Zu den relevanten Kosten zählen Rüstkosten, Maschinenkosten, Personalkosten, Logistikkosten, die sich in Lager- und Transportkosten aufteilen lassen, Fremdvergabekosten und Investitionskosten. Bei einer Entscheidung zu berücksichtigen sind außerdem Opportunitätskosten, die den Verzicht auf eine alternative Nutzung der Fertigungskapazitäten widerspiegeln. Kosten, die nur in indirektem Zusammenhang zu der verfolgten Strategie stehen sind hier von der Betrachtung auszuschließen. Sie sind nur schwer faßbar und daher kaum zu quantifizieren.

Die relevanten Kosten werden in einer Grundrechnung für jeden von der Entscheidung über die Migration beeinflussten Auftrag nach Kostenarten getrennt erfaßt. Die so erfaßten Kosten werden dann für alle veränderten Aufträge aufsummiert und den Entscheidungen über die Migrationsstrategie zugeordnet. Dabei wird eine Erfassung der Kosten für Betriebsmittel, für Transportmittel und für das Lager vorgenommen. Darüber hinaus werden den jeweiligen Migrationsstrategien noch die Kosten zugerechnet, die nicht di-

rekt den einzelnen Aufträgen zugeordnet werden können, die also beispielsweise durch eine Investitionsentscheidung verursacht wurden.

So läßt sich für jede Migrationsstrategie bestimmen, welche kostenmäßigen Auswirkungen die Realisierung der betreffenden Strategie hat und welche Strategie tatsächlich verwirklicht werden sollte. Mit diesem Verfahren können die Kosten abgeschätzt werden, die durch die verschiedenen zur Auswahl stehenden Migrationsstrategien verursacht werden. Die Migrationsstrategien lassen sich somit auch wirtschaftlich bewerten und miteinander vergleichen. Einen Überblick für das Vorgehen bei der Bewertung von Migrationsstrategien gibt Abbildung 46.

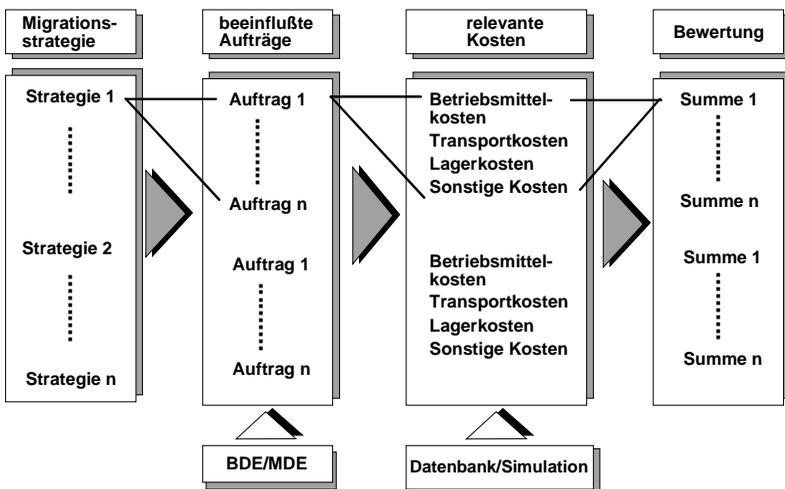


Abbildung 46: Vorgehen bei der Bewertung von Migrationsstrategien

7.3 Entscheidungsrelevante Kosten für die Bewertung von Migrationsstrategien

Um die Eignung von Kostenrechnungsverfahren für eine wirtschaftliche Bewertung von Migrationsstrategien beurteilen zu können, müssen zunächst die entscheidungsrelevanten Kosten einer Migration identifiziert werden. Entscheidungsrelevant sind jene Kosten, die sich bei der Realisierung einer Alternative im Vergleich zu einer anderen, deren Realisierung ebenso möglich wäre, verändern.

Für die Entscheidung irrelevant sind alle Kosten, die für die zur Verfügung stehenden Alternativen gleichermaßen anfallen oder auch ohne eine Umstrukturierung des Fertigungsbereichs oder ohne Störung entstehen würden. Es können daher alle periodenbezogenen Fixkosten aus der Betrachtung ausgeklammert werden. Zu diesen Kosten zählen z.B. bei einer Umstrukturierung der Werkstatt die fixen Raumkosten für diese Werkstatt, bei einer räumlichen oder zeitlichen Verlagerung eines Auftrages die Personal- und Materialkosten für die Fertigung dieses Auftrages.

Die maschinenbezogenen Fixkosten können dagegen nicht ohne weiteres außer acht gelassen werden, da diese von der Entscheidung über die Wahl der Fertigungsstruktur beeinflusst werden können. Wird ein Auftrag z.B. auf ein anderes Fertigungssystem verlagert, so können damit veränderte Maschinenfixkosten einhergehen, die sich auch von den anderen verfolgten Alternativen unterscheiden. Die Lagerhaltungs- oder Kapitalbindungskosten müssen ebenso berücksichtigt werden, sofern sich entsprechend der Maßnahmen die Größe des Lagers, die Anzahl der Umlagerungen oder die Verweildauer im Lager verändert.

Die Kostenrechnungsverfahren werden im folgenden dahingehend untersucht, ob und wie sie in der Lage sind, die für eine Migrationsstrategie relevanten Kosten zu erfassen. Für die so identifizierten Kosten wurde ein Kostenrechnungsverfahren gefunden, das es ermöglicht, diese Kosten zu erfassen und zu quantifizieren, wobei irrelevante Kosten nicht betrachtet werden.

7.4 Untersuchung von Kostenrechnungsverfahren

Im Rahmen der Analyse wurden die verschiedenen Kostenrechnungssysteme sowohl auf Vollkosten- als auch auf Teilkostenbasis betrachtet. Der Unterschied zwischen diesen beiden Rechnungsarten besteht nicht darin, daß bei der Teilkostenrechnung nicht alle Kosten erfaßt werden, sondern in der Zurechnung der angefallenen Kosten. Im folgenden wird auf die Verfahren der Plankostenrechnung näher eingegangen. Abbildung 47 gibt einen Überblick über die Formen der Plankostenrechnungsverfahren.

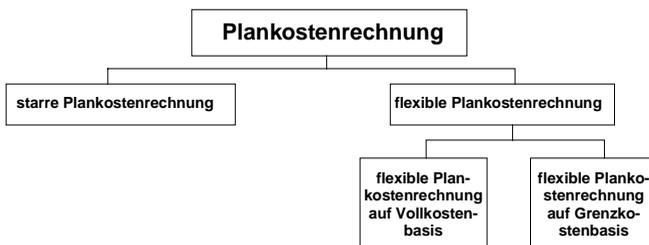


Abbildung 47: Formen der Plankostenrechnung

7.5 Bewertung der Kostenrechnungsverfahren

Es sind die verschiedenen Kostenrechnungsverfahren im Hinblick auf ihre Eignung für die wirtschaftliche Bewertung von Migrationsstrategien untersucht worden. Zunächst wurden die auf Vollkosten basierenden Verfahren betrachtet.

Die *starre Plankostenrechnung* ist das einfachste Plankostenrechnungsverfahren. Alle angefallenen Kosten, ob fix oder variabel, werden gleich behandelt und den Kostenträgern direkt zugerechnet. Dieses Verfahren ist gut geeignet, wenn in der geplanten Periode im Vergleich zur zurückliegenden Periode keine Änderungen bzgl. der Kapazitäten auftreten. Für die hier vorliegende Problemstellung ist es jedoch nicht geeignet.

Die *flexible Plankostenrechnung* auf Vollkostenbasis berücksichtigt die Unterscheidung zwischen variablen und fixen Kosten. Allerdings wird der Beschäftigungsgrad als die einzige Kosteneinflußgröße betrachtet. Dieses Verfahren ist für die hier diskutierte Problematik ebenfalls ungeeignet, da hier weitreichendere Abhängigkeiten abgebildet werden müssen.

Die *Prozeßkostenrechnung* als letztes beschriebenes Verfahren der Vollkostenrechnung geht weitaus differenzierter vor. Dieses Verfahren ermöglicht die verursachungsgerechte Zurechnung der Gemeinkosten und kann daher als Entscheidungsunterstützung verwendet werden. Allerdings ist die Voraussetzung dafür die Bestimmung repetitiver Prozesse. Da eine Migration immer ein gering strukturierter Prozeß ohne Wiederholungen ist, ist auch die Prozeßkostenrechnung für die hier vorliegende Problematik nicht geeignet.

Schließlich wurden die Verfahren auf Basis der Teilkostenrechnung untersucht. Bei diesen Kostenrechnungssystemen wird nur ein Teil der Kosten in die Betrachtung miteinbezogen, während die nicht entscheidungsrelevanten Kosten zwar erfaßt, aber nicht betrachtet werden.

Die *Grenzplankostenrechnung* erwies sich ebenso wie die flexible Plankostenrechnung auf Vollkostenbasis, auf der sie basiert, als nicht geeignet, da sie keine Kosteneinflußgrößen außer dem Beschäftigungsgrad berücksichtigt. Dies stellt aber eine vereinfachte Sichtweise dar, die bei der Bewertung von Migrationsstrategien nicht ausreicht.

Auch die *ein- und mehrstufige Deckungsbeitragsrechnung* basieren auf denselben Prämissen wie die Grenzplankostenrechnung, sie beziehen nur die Erlöse in die Rechnung ein. Daher ist auch diese Betrachtung nicht geeignet für eine wirtschaftliche Bewertung von Migrationsstrategien.

Die *Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung* geht davon aus, daß alle anfallenden Kosten durch Entscheidungen verursacht werden. Diesen Entscheidungen rechnet sie die Kosten nach dem Identitätsprinzip zu. Damit bietet sie die Möglichkeit, eine Entscheidung auf der Basis der Kosten zu treffen, die ihr ursächlich zugeordnet werden können.

Die *Opportunitätskostenrechnung* ermöglicht eine Berücksichtigung von Kapazitätsengpässen bei der Bewertung der Migrationsstrategien. Mit diesem Verfahren kann das optimale Produktionsprogramm unter Beachtung verschiedener Restriktionen bestimmt werden. Die Eignung der vorgestellten Kostenrechnungsverfahren und die zur Beurtei-

Ökonomische Bewertung von Migrationsstrategien

lung der Eignung berücksichtigten Kriterien werden abschließend in Tabelle 5 veranschaulicht.

Kriterien	Vollkostenrechnungssysteme		
	starre Plankostenrechnung	flexible Plankostenrechnung	Prozeßkostenrechnung
Einteilung der Kosten	keine	fixe/variable	Einzel-/Gemeinkosten
berücksichtigte Kosten	alle	alle	alle
Kosteneinflußgrößen	Beschäftigung	Beschäftigung	Beschäftigung
Erfassung einmaliger Vorgänge	möglich	möglich	nicht möglich
Berücksichtigung v. Kap. engpassen	nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich
Eignung des Verfahrens	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet

Kriterien	Teilkostenrechnungssysteme				
	Grenzplankostenrechnung	Einstufige DB-Rechnung	Mehrstufige DB-Rechnung	Einzelkosten u. DB-Rechnung	Opportunitätskostenrechnung
Einteilung der Kosten	fixe/variable	fixe/variable	fixe/variable	Einzel-/Gemeinkosten	fixe/variable Einzel-/Gemeink.
berücksichtigte Kosten	variable	variable	fixe/variable	Einzelkosten	variable Einzelkosten
Kosteneinflußgrößen	Beschäftigung	Beschäftigung	Beschäftigung	Entscheidungen	Beschäftigung Entscheidungen
Erfassung einmaliger Vorgänge	möglich	möglich	möglich	möglich	möglich
Berücksichtigung v. Kap. engpassen	nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich	möglich
Eignung des Verfahrens	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	geeignet

Legende:

geeignete Verfahren zur Bewertung von Migrationsstrategien

Tabelle 5 – Übersicht über die Eignung der Kostenrechnungsverfahren für die Bewertung von Migrationsstrategien

7.6 Wirtschaftliche Betrachtung des strategischen Steuerungsraumes

In Anlehnung an ZÜLCH 1989 (vgl. Abschnitt 5.7) werden im folgenden verschiedene Steuerungsstrategien einer wirtschaftlichen Bewertung unterzogen. Diese Strategien bilden eine Systematik, auf die sich alle Steuerungsmaßnahmen im Fertigungsbereich zurückführen lassen. Allerdings ist das Ziel aller von Zülch verfolgten Strategien ein Kapazitätsabgleich, d.h. die vorhandenen Kapazitäten werden als Konstante betrachtet, wobei die Steuerungsstrategien eingesetzt werden, um eine optimale Kapazitätsauslastung zu erreichen. Die Betrachtung von Migrationsstrategien geht daher noch über diesen Ansatz hinaus, da hier auch eine Veränderung der Kapazitäten betrachtet werden soll.

Die Strategien nach Zülch lassen sich aus einer Kombination verschiedener Maßnahmen aufbauen. Dabei hängt der Einsatz dieser Strategien von der vorliegenden Produktionsstruktur ab. Für jede Produktionsstruktur ist ein Teil der Strategien durchführbar. Bei einer Fließfertigung, bei der der Ausfall einer Maschine oft zum Stillstand des ganzen Systems führt, werden andere Strategien eingesetzt als z.B. bei einer Werkstattfertigung, bei der durch die Umschichtung der anliegenden Aufträge sehr flexibel auf Störungen reagiert werden kann. Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Strategien kann Abschnitt 5.7 entnommen werden. Die Maßnahmen und die daraus abgeleiteten Strategien sind in Abbildung 48 dargestellt.

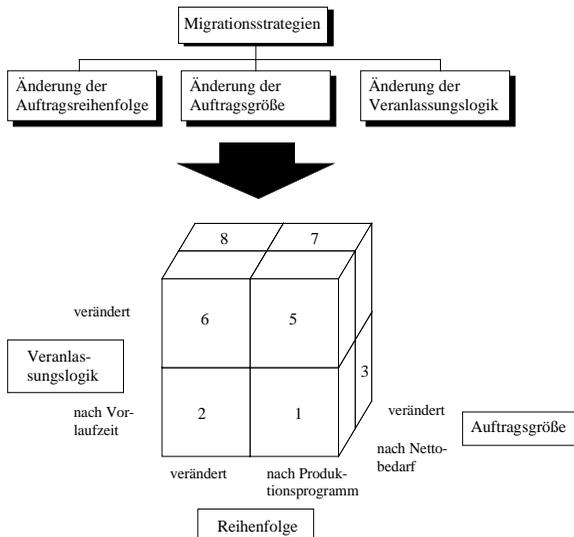


Abbildung 48: Maßnahmen zum Kapazitätsabgleich nach Zülch

In den nachfolgenden Abschnitten werden die drei prinzipiellen Strategien nach Zülch nach ihrer wirtschaftlichen Bewertung untersucht. Aufgrund der betrachteten Zeitvarianz von Produktionssystemen reichen diese drei Strategien nicht aus. Der Ansatz von Zülch wird deshalb um zwei weitere Strategien erweitert, nämlich die "Anpassung des Kapazitätsangebotes an die -nachfrage" und die "Änderung der Fertigungsstruktur".

7.6.1 Änderung der Auftragsreihenfolge

Eine Veränderung der Auftragsreihenfolge kann durch ein technisches oder zeitliches Verschieben einzelner Aufträge erreicht werden. Als technisches Verschieben bezeichnet man die Verlagerung eines Auftrages auf ein anderes als das geplante Arbeitssystem, bei dem die dort anstehenden Aufträge dann allerdings auch eine zeitliche Verschiebung erfahren.

Eine Reihenfolgeänderung kann z.B. bedingt sein durch den (ungeplanten) Ausfall einer Produktionslinie bei Reihenfertigung oder durch den (geplanten) Umbau einer Werkstatt bei Werkstattfertigung. Durch eine Veränderung der Auftragsreihenfolge kann man im Fertigungsbereich einzelne Aufträge priorisieren, während andere Aufträge zurückgestellt werden. Dadurch ändern sich die Wartezeiten vor dem betrachteten Arbeitssystem und somit die Durchlaufzeiten der wartenden wie der priorisierten Aufträge. Dies führt zu weitreichenden Veränderungen der anfallenden Kosten. Zu den von dieser Maßnahme beeinflussten Kosten zählen Rüstkosten, Transportkosten und Lagerhaltungskosten, d.h. Lager- und Kapitalbindungskosten (PAULIK 1984, SEITE 94 -100).

7.6.2 Änderung der Auftragsgröße

Ebenso wie eine Reihenfolgeänderung kann auch eine Änderung der Auftragsgröße als Steuerungsmaßnahme eingesetzt werden. Unter einer Änderung der Auftragsgröße versteht Zülch z.B. die Zusammenfassung zweier (ähnlicher) Aufträge oder die (teilweise) Fremdvergabe eines Auftrages. Die Ziele dieser Maßnahme sind die Fertigung optimaler Losgrößen und das Vermeiden zeitlich begrenzter Kapazitäts-überschreitungen. Die Änderung der Auftragsgröße führt u.a. zu Veränderungen der Rüstkosten, da beispielsweise bei der gemeinsamen Fertigung zweier Aufträge ein Rüstvorgang entfällt. Allerdings können durch diese Maßnahme die Transaktionskosten, die als Kosten der Anbahnung, Vereinbarung, Abwicklung, Kontrolle und Anpassung eines als gerecht empfundenen Leistungsaustausches definiert sind, erhöht werden (PICOT/REICHWALD/WIEGAND 1996, SEITE 41). Die Fremdvergabe eines Auftrages setzt einen Partner voraus, der in der Lage ist, u.U. kurzfristig einen Auftrag zu übernehmen und in der gewünschten Qualität zu fertigen. Das bedeutet, es entstehen Transaktionskosten in Form von Vereinbarungs- bzw. Kontrollkosten. Auch die Transportkosten, die Lagerkosten und die Kapitalbindungskosten werden durch die Änderung der Auftragsgröße verändert. Eine Erhöhung der Losgröße führt dazu, daß die Mehrproduktion ins Lager transportiert und dort gelagert werden muß. Wenn das Lager dafür nicht aus-

reicht, muß evtl. eine Erweiterung des Lagers erfolgen, was noch zusätzliche Kosten verursacht.

Außerdem wird z.B. bei der Fremdvergabe auch die Erlösseite beeinträchtigt, indem der Deckungsbeitrag, den der Auftrag liefern könnte, sinkt und zudem Fertigungskosten des Fremdvergabepartners anfallen.

7.6.3 Änderung der Veranlassungslogik

Als Änderung der Veranlassungslogik bezeichnet Zülch den Übergang zu einer anderen Auftragsveranlassung, bei der das Fertigungsprogramm in einer veränderten Weise gefertigt wird. Bei dieser Maßnahme erfolgt die Auftragsveranlassung nicht mehr zu den aus den Vorlauf- und Lieferzeiten abgeleiteten Zeitpunkten, sondern auf der Basis einer anderen Logik. Dies führt zu einer Formänderung des Belastungsprofils. Beispielsweise kann ein Auftrag zur Verkürzung der Durchlaufzeit auf mehrere Maschinen verteilt werden. Die dadurch erzielte kürzere Durchlaufzeit bedeutet aber gleichzeitig, daß die Rüstkosten steigen, da nun Rüstzeiten an jeder mit dem Auftrag belegten Maschine anfallen. Die Rüstkosten steigen also mit der Anzahl der zur Fertigung verwendeten Maschinen. Ebenso wie die Rüstkosten verändern sich auch die Transportkosten, da eine Aufteilung der Produktion auf mehrere räumlich getrennte Fertigungssysteme zu zusätzlichen Transportwegen und damit zu höheren Transportkosten führt.

Mit diesen Maßnahmen lassen sich alle Steuerungsstrategien beschreiben, die in der Fertigung unter der Voraussetzung gleichbleibender Kapazitäten verfolgt werden können.

Eine zeitmäßige oder intensitätsmäßige Anpassung des Kapazitätsangebotes an die Kapazitätsnachfrage wird bei Zülch nicht berücksichtigt. Des weiteren wird die Möglichkeit einer qualitativen oder quantitativen Kapazitätsanpassung, d.h. die Möglichkeit einer Veränderung der Fertigungskapazitäten, aus der Betrachtung ausgeklammert.

Ziel der Steuerungsstrategien nach Zülch ist es, das gewünschte Produktionsprogramm unter optimaler Ausnutzung der vorhandenen Kapazitäten, jedoch ohne diese auch nur zeitweilig zu überschreiten, zu fertigen. Um eine wirtschaftliche Betrachtung von Migrationsstrategien vornehmen zu können, ist der Ansatz von Zülch daher um weitere Dimensionen zu erweitern, um diese Einschränkungen beseitigen zu können.

7.6.4 Anpassung des Kapazitätsangebotes an die –nachfrage

Auf eine kurzfristige Änderung der Ausbringungsmenge bei der Verfolgung einer Migrationsstrategie kann mit der Anpassung des Kapazitätsangebots an die Kapazitätsnachfrage reagiert werden. Eine solche Anpassung kann nötig werden, wenn im Vorfeld einer Umstrukturierungsmaßnahme ein durch die Umplanung entstehender Engpaß im Produktionsbereich vermieden werden soll, d.h. wenn auf Lager produziert wird, durch die ein reibungsloser Produktionsablauf während der Umstrukturierung sichergestellt werden soll.

Eine Änderung der zur Verfügung stehenden Kapazität kann, neben der oben beschriebenen qualitativen bzw. quantitativen Anpassung auch durch eine intensitätsmäßige oder zeitliche Anpassung erfolgen (STORP 1982, SEITE 27). Bei der intensitätsmäßigen Anpassung wird die Produktionsgeschwindigkeit variiert.

Bei der zeitlichen Anpassung des Kapazitätsangebots wird die Verfügbarkeit erhöht, indem die Produktionszeit verlängert wird. Dies kann geschehen, indem Überstunden oder Zusatzschichten eingeführt werden. Wie schon beschrieben, verändern sich durch diese Maßnahme die Personalkosten, wenn bei Überstunden höhere Lohnsätze anfallen oder wenn der Auftrag in einer Zusatzschicht gefertigt wird, für die Lohnzuschläge gezahlt werden müssen.

Des Weiteren fallen zusätzliche Raumkosten in der Fertigung an, d.h. Energie- und Heizkosten, wenn aufgrund von Zusatzschichten länger gearbeitet wird.

7.6.5 Änderung der Fertigungsstruktur

Eine Migration kann auch zu einer Änderung der Fertigungsstruktur führen, d.h. es können auch die Fertigungskapazitäten verändert werden, indem Maschinen ersetzt werden oder indem die Kapazität erweitert wird. Diese Maßnahme kann auch eine Änderung der Anordnung der einzelnen Maschinen betreffen.

Unter Fertigungsstruktur versteht man den Aufbau des Produktionsbereichs, d.h. die Anzahl und Reihenfolge der Fertigungssysteme. Dies beinhaltet also sowohl die Anordnung der Fertigungssysteme als auch den Ablauf der Fertigung.

Eine Änderung der Fertigungsstruktur kann eingeteilt werden in eine Änderung, die durch den Umbau der vorhandenen Struktur entsteht, und in eine Änderung, die den Einsatz neuer Fertigungssysteme einbezieht. Bei ersterer werden also nur die vorhandenen Fertigungssysteme anders angeordnet, wenn beispielsweise das Produktionsprogramm geändert wird und sich daher die Reihenfolge der Maschinenbelegung ändert. Dies kann man in der Fließfertigung z.B. durch den Umbau einer Fertigungsstraße realisieren. Dieser Umbau verursacht Umrüstkosten und Maschinenstillstandskosten für die Zeit, in der die Umstrukturierung stattfindet.

Bei der letztgenannten Änderung werden dagegen die Produktionskapazitäten verändert, indem Maschinen ausgetauscht oder zusätzliche Maschinen in den Produktionsbereich integriert werden. Dies kann in Form einer qualitativen oder quantitativen Anpassung geschehen. Bei dieser Änderung der Fertigungsstruktur müssen daher auch Investitionskosten in die Betrachtung einbezogen werden.

Die Investitionskosten in neue Fertigungssysteme sind allerdings nur für die wirtschaftliche Bewertung von Migrationsstrategien relevant, wenn bei mehreren Alternativen eine Entscheidung über die zu treffende Investition gefällt werden soll. Dabei soll im Rahmen der hier vorliegenden Aufgabenstellung keine Investitionsrechnung im Sinne einer Beurteilung der Investition mit den statischen oder dynamischen Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung, wie z.B. Kostenvergleichsrechnung oder Amortisationsrechnung (DÄUMLER 1992, SEITE 156 FF) durchgeführt, werden. Es soll dagegen eine Beurteilung des Ablaufes der durch die Investition bedingten Umstrukturierung erfolgen.

Aufgabe der Investitionsrechnung ist einerseits die Ermittlung der absoluten bzw. relativen Vorteilhaftigkeit einer Investition, andererseits die Bestimmung der optimalen Nutzungsdauer einer Anlage und des optimalen Ersatzzeitpunktes. Zur Ermittlung der absoluten Vorteilhaftigkeit soll bei einer Einzelinvestition entschieden werden, ob sich diese lohnt, zur Ermittlung der relativen Vorteilhaftigkeit soll dagegen bei einem Alternativenvergleich die günstigste Alternative bestimmt werden (DÄUMLER 1992, SEITE 15).

Im Rahmen der wirtschaftlichen Bewertung von Migrationsstrategien stellt sich nicht die Frage, ob eine Investition getätigt bzw. welches Fertigungssystem ersetzt werden soll, es stellt sich vielmehr die Frage nach dem günstigsten Investitionszeitpunkt bei den einzelnen Alternativen oder der Reihenfolge der Investitionen bzw. der Austauschvorgänge. Die Entscheidung über den Einsatzzeitpunkt muß im jeweiligen Einzelfall stets unter Berücksichtigung der anstehenden Aufträge und der bei den verschiedenen Strategien auftretenden Engpässe gefällt werden. Es ist also der Zeitverlauf des Migrationsvorgangs zu beachten.

Bei der Betrachtung der alternativen Migrationsvorgänge soll eine Beurteilung der Kosten erfolgen, die im Fertigungsbereich bei der Durchführung des jeweiligen Migrationspfades anfallen. Es ist daher mittels der Simulation zu ermitteln, wie sich die Investitionen auf die Fertigung auswirken. Die Investitionskosten und die jeweiligen Investitionszeitpunkte müssen daher extern vorgegeben sein und von der Planungsbasis zur Verfügung gestellt werden.

Die durch diese Maßnahme veränderten Kosten beinhalten also, neben den Kosten für Umrüstvorgänge und den Personalkosten, die Investitionskosten in neue Anlagen, wenn sie für verschiedene Alternativen in unterschiedlicher Höhe oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen. Die Maßnahmen zur Realisierung einer Migrationsstrategie sind in Abbildung 49 dargestellt.

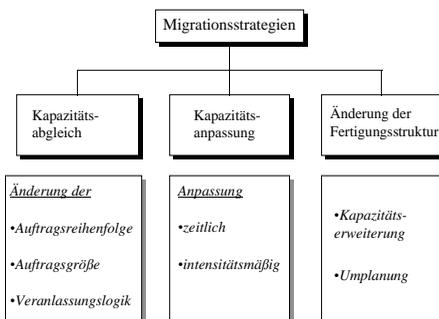


Abbildung 49: Steuerungsmaßnahmen bei Migrationsstrategien

7.7 Bestimmung der Kosten für die Migrationsstrategien

Aus den dargestellten Steuerungsstrategien und den durch diese Änderungen beeinflussten Kosten lassen sich die für den gesamten Migrationsvorgang anfallenden Kosten bestimmen. Die gesamten anfallenden Kosten setzen sich aus den Kosten zusammen, die für jeden Auftrag an die zur Fertigung dieses Auftrages benötigten Anlagen anfallen. Da im Verlauf der Migration viele oder sogar alle Fertigungssysteme beansprucht werden, ist die Bestimmung der Kosten sehr komplex.

Dem Planer einer Migrationsstrategie müssen daher Informationen über die Auslastung, die Leistungsfähigkeit und die Verfügbarkeit aller im Fertigungsbereich vorhandenen Anlagen und über sämtliche anstehenden Aufträge vorliegen.

Zur Ermittlung der Kosten wird für jeden Migrationspfad bestimmt, welche Betriebsmittel aufgrund der Migration eine Änderung erfahren und welcher Art diese Änderung ist. Als Betriebsmittel bezeichnet man die zur Durchführung der Produktion erforderliche Ausstattung, wie z.B. Fertigungsanlagen, Transportmittel etc. (SCHNEEWEIß 1997, SEITE 22). Aufgrund dieser Änderungen kann für jedes beeinflusste Betriebsmittel die Höhe der durch diesen Migrationsvorgang anfallenden Kosten bestimmt werden.

Zu diesem Zweck ist die Planungsmethode so gestaltet worden (vgl. Kap. 6), daß jeder von einer Änderung betroffene Produktionsfaktor identifiziert werden kann. Dies kann erreicht werden, indem eine Systematisierung zur Bestimmung der relevanten Kosten eingeführt wird. Für jeden Auftrag müssen also für den Ausgangszustand und für den gewünschten neuen Betriebszustand die Kosten, die für die Betriebsmittel, die Transportmittel und das Lager anfallen, erfaßt werden. Außerdem sind noch sonstige außergewöhnliche Kosten, wie z.B. Konventionalstrafen bei Terminüberschreitungen, zu erfassen. Ein Vergleich der so ermittelten Kosten bietet dann die Möglichkeit, die verschiedenen Alternativen zu beurteilen und die jeweils günstigste Alternative auszuwählen.

Für jede Migrationsstrategie müssen dann die Kosten aller betroffenen Aufträge aufsummiert werden, so daß die Kosten jeder Strategie bestimmt werden können.

In Anlehnung an VOLLMER 1996 sollen die Kosten als Betriebsmittelkosten, Transportmittelkosten, Lagerkosten und sonstige Kosten erfaßt werden.

7.7.1 Betriebsmittelkosten

Für jeden Migrationspfad muß bestimmt werden, in welchem Umfang sich die nach RIEBEL als Einzelkosten erfaßten Kosten verändert haben. Dafür muß für jeden bei der Auftragsbearbeitung verwendeten Potentialfaktor eine Reihe von Daten erfaßt werden. Um die Erfassung der benötigten Daten strukturiert vornehmen zu können, wird im folgenden eine Systematik vorgeschlagen. Da bei der wirtschaftlichen Bewertung von Migrationsstrategien immer nur die Änderung der Kosten relevant ist, müssen die benötigten Daten vor und nach der Änderung des Produktionsprogramms erfaßt und muß

den einzelnen Alternativen die Differenz zwischen alten und neuen Werten zugerechnet werden.

Zunächst sind für alle Betriebsmittel, die durch den Auftrag belegt werden, die Kosten, die sich durch die Migrationsstrategie verändern, zu erfassen. Bei einer Veränderung der Auftragsreihenfolge müssen beispielsweise Rüstzeiten, Bearbeitungszeiten und Wartezeiten vor der Bearbeitung erfaßt werden, die ohne Änderung angefallen wären, und die Zeiten, die aufgrund der Änderung anfallen. Aus der Differenz der neuen und der alten Daten lassen sich dann die Kosten berechnen, die sich für den neuen Betriebszustand verändert haben. Die Bestimmung der Kosten der belegten Betriebsmittel läßt sich in Anlehnung an VOLLMER mit Hilfe der in Abbildung 50 dargestellten Systematik vornehmen.

Für jedes Betriebsmittel müssen die *Rüstkosten*, die *Maschinenkosten* und die *Personalkosten* erfaßt werden. Dabei kann mit dem Rüststundensatz der Schwierigkeitsgrad des Umrüstvorgangs berücksichtigt werden, indem verschiedene Stundensätze angesetzt werden. Je nach Steuerungsmaßnahme kann sich auch die Anzahl der zur Fertigung des Auftrags benötigten gleichartigen Maschinen ändern. Mit Zunahme der Maschinenzahl steigt dann auch der Rüstaufwand, da an allen belegten Maschinen Rüstzeiten anfallen und Rüstpersonal benötigt wird.

Betriebsmittel	Attribut	Parameter
Identifikationskomponente	Name	Ident des Betriebsmittels
Kostenkomponente	Rüstkosten	Rüstzeit Rüststundensatz Anzahl Maschinen Anzahl Umrüster
	Maschinenkosten	Bearbeitungszeit Maschinenstundensatz
	Personalkosten	Stundenlohn Bearbeitungszeit Anzahl Mitarbeiter

Abbildung 50: Bestimmung der Betriebsmittelkosten

Für jeden Auftrag sind so die Kosten aller Betriebsmittel zu erfassen. Wird zur Fertigung eines Auftrages eine neue Anlage eingesetzt, so müssen mit dem Maschinenstundensatz die laufenden Kosten dieser neuen Anlage berücksichtigt werden. Der Investitionszeitpunkt muß dann noch mit den Zinskosten bewertet werden, sofern unterschiedliche Investitionszeitpunkte zur Auswahl stehen.

Wird ein Auftrag (teilweise) fremdvergeben, fallen auf den unternehmenseigenen Betriebsmitteln keine bzw. geringere Kosten an. Für die Ermittlung der Kosten eines solchen Auftrages müssen daher die Rüst-, Maschinen- und Personalkosten gleich Null gesetzt werden. An ihrer Stelle sind dann Kosten der Fremdvergabe anzusetzen. Die anfallenden Investitions- bzw. Fremdvergabekosten fallen aber für bestimmte Aufträge an und sind nicht einzelnen Betriebsmitteln zuordenbar. Sie sollen daher, ebenso wie die Investitionskosten, in einer eigenen Kostenkategorie erfaßt und der verfolgten Migrationsstrategie direkt zugerechnet werden.

Die hier ermittelten Daten zur Bestimmung der Betriebsmittelkosten bei einer Änderung im Produktionsprogramm müssen nun den Daten der Ausgangssituation gegenübergestellt werden. Damit lassen sich die relevanten Kosten des Migrationsvorgangs bestimmen, die aus der Differenz der Kosten des Ausgangszustands und des neuen Betriebszustandes gebildet werden.

7.7.2 Transportkosten

Für jeden Auftrag müssen ebenso wie die zur Fertigung benötigten Betriebsmittel die vom Auftrag beanspruchten Transportmittel identifiziert werden. Dies geschieht auf der Basis einer Systematik, die ähnlich der Systematik zur Bestimmung der Betriebsmittelkosten aufgebaut ist. Diese Systematik ist in Abbildung 51 dargestellt.

Transportmittel	Attribut	Parameter
Identifikationskomponente	Name	Ident des Transportmittels
Kostenkomponente	Transportkosten	Transportzeit Transportstrecke Transportkostensatz Anzahl Transportmittel

Abbildung 51: Bestimmung der Transportkosten

Für jedes Transportmittel werden die *Transportkosten* entweder anhand der Transportzeit oder der Transportstrecke bestimmt. Die Bestimmung der Kosten ist dabei vom Transportmittel abhängig.

Außerdem fällt für jedes Transportmittel ein bestimmter Transportkostensatz an, der hier aus vergangenheitsbezogenen Werten abgeleitet werden soll.

7.7.3 Lagerkosten

Für jeden Auftrag müssen schließlich noch die Lagerkosten bestimmt werden, die durch die veränderte Fertigung des Auftrags verursacht werden. Es sind also die durch die

Lagerung direkt hervorgerufenen Kosten, die durch die Lagergröße und die Lagerdauer bestimmt sind, und die Kapitalbindungskosten zu erfassen. In Abbildung 52 ist dargestellt, welche Daten zur Bestimmung der Lagerkosten vor und nach der Änderung erfaßt werden müssen.

Lager	Attribut	Parameter
Identifikationskomponente	Name	Ident des Lagers
Kostenkomponente	Lagerkosten	Lagerdauer Lagerkostensatz Lagergröße
	Kapitalbindungskosten	Zinssatz Auftragswert Lagerdauer

Abbildung 52: Bestimmung der Lagerkosten

Diese Kosten sind für alle von der Migrationsstrategie betroffenen Aufträge zu bestimmen. Relevante Lagerkosten fallen bei einer Migrationsstrategie an, wenn sich die Verweildauer im Lager oder die Größe des Lagers ändert.

7.7.4 Sonstige Kosten

Neben den Kosten für die Betriebsmittel, die Transportmittel und das Lager können bei Migrationsstrategien noch Kosten anfallen, die durch die Anschaffung neuer Produktionsanlagen entstehen. Diese Kosten lassen sich nicht einzelnen Aufträgen zurechnen, es sind vielmehr Kosten, die den verschiedenen Migrationsstrategien zuzurechnen sind. Sie sollen daher als eigene Kostenkategorie bei der Bewertung Berücksichtigung finden.

Hier wird ein Vorteil der Einteilung und Zurechnung der Kosten auf Basis der Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung nach RIEBEL deutlich. Auf jeder Ebene können die Kosten bestimmt werden, die gerade noch als Einzelkosten erfaßt werden können. Dadurch lassen sich für jede Strategie neben den Kosten, die den durch die Strategie beeinflussten Aufträgen direkt zugerechnet werden können, auch die Kosten bestimmen, die unabhängig von diesen Aufträgen anfallen.

Ebenso wie die Investitionskosten sollen auch Terminüberschreitungskosten, z.B. Konventionalstrafen, nicht dem einzelnen Auftrag zugerechnet, sondern als Kosten der jeweiligen Migrationsstrategie erfaßt werden. Dies erscheint sinnvoll, da die Entscheidung über die Migrationsstrategie den Produktionszeitpunkt beeinflusst und so direkten Einfluß auf die Terminüberschreitung bzw. die Termineinhaltung ausübt.

Eine Erfassung dieser sonstigen Kosten erfolgt ähnlich der Erfassung der auftragsbezogenen Kosten. In Abbildung 53 ist das Schema zur Erfassung dieser Kosten dargestellt.

Sonstige Kosten	Attribut	Parameter
Identifikationskomponente	Name	Migrationsstrategie
Kostenkomponente	Kosten der Fremdvergabe	Rechnungsbetrag des Fremdvergabepartners
	Investitionskosten	Zinssatz Investitionssumme Investitionszeitpunkt
	Opportunitätskosten	entgehende Deckungsbeiträge

Abbildung 53: Bestimmung der sonstigen Kosten der Migrationsstrategie

Zu diesen sonstigen Kosten zählen auch die Opportunitätskosten. Dabei handelt es sich nicht um Kosten im eigentlichen Sinn, es handelt sich dabei vielmehr um Deckungsbeiträge, die durch den Verzicht auf die Fertigung eines Auftrages entgehen. Zur Bestimmung dieser Opportunitätskosten müssen für die Aufträge, die nicht gefertigt werden können, die Kosten bestimmt werden, die bei der Fertigung anfallen würden. Werden diesen Kosten die Erlöse gegenübergestellt, die durch die Fertigung des Auftrags hätten erzielt werden können, so erhält man die Opportunitätskosten.

Opportunitätskosten fallen an, wenn aufgrund eines Engpasses auf die Bearbeitung eines Auftrages verzichtet werden muß. Es handelt sich also um Kosten der alternativen Nutzung der vorhandenen Kapazitäten. Bei der Bestimmung der gesamten Kosten eines Migrationsvorgangs dürfen diese Kosten daher nicht angesetzt werden.

Ziel dieser wirtschaftlichen Bewertung ist neben der Bestimmung der durch einen Migrationsvorgang verursachten Kosten aber auch, eine Entscheidungshilfe für den zu realisierenden Migrationspfad zu liefern. Bei der Entscheidung über den Migrationspfad müssen die verschiedenen Alternativen miteinander vergleichbar gemacht werden. Die Entscheidung soll folglich unter Berücksichtigung der vorliegenden Engpässe im Produktionsablauf getroffen werden. Dafür müssen die durch den Engpaß anfallenden Kosten bzw. entgehenden Gewinne oder Deckungsbeiträge in die Entscheidung einfließen. Die Opportunitätskosten müssen daher bei der wirtschaftlichen Bewertung von Migrationsstrategien in der Berechnung der Kosten der einzelnen Strategien berücksichtigt werden, sobald ein Produktionsengpaß vorliegt.

7.8 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund immer kürzerer Produktlebenszyklen und dem daraus resultierenden Bedarf an immer besseren Möglichkeiten zur Planung von Wechseln des Betriebszustands bei zeitvarianten Produktionssystemen wurde ein Verfahren zur wirtschaftlichen Bewertung von Migrationsstrategien entwickelt.

Zu diesem Zweck wurden zunächst die verschiedenen Kostenrechnungsverfahren im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit für diese Bewertung betrachtet. Für eine Bewertung und Gegenüberstellung der verschiedenen Migrationsstrategien ergab sich die Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung als geeignete Grundlage. Mit diesem Kostenrechnungsverfahren ist eine Erfassung der relevanten Kosten, also der Kosten, die sich für die verschiedenen Alternativen unterscheiden, möglich. Außerdem kann eine Zuordnung der so bestimmten Kosten auf die verschiedenen Strategien erreicht werden, da die Kosten stets dem Kalkulationsobjekt zugerechnet werden, für das sie Einzelkosten darstellen. Aufbauend auf der Kostenerfassung nach diesem Kostenrechnungsverfahren lassen sich daher die (entscheidungs-)relevanten Kosten der möglichen Migrationsstrategien erfassen. Anhand der so bestimmten Kosten kann dann eine Bewertung der Strategien vorgenommen werden.

Daher wurden zunächst die verschiedenen Möglichkeiten von Steuerungsstrategien betrachtet. Anhand dieser Strategien wurden die bei der Durchführung der einzelnen Strategien beeinflussten Kosten identifiziert. Die so ermittelten Kosten wurden dann auf eine Systematik zurückgeführt, die die gezielte Erfassung der anfallenden Kosten gewährleistet. Auf der Basis dieser Systematik konnte schließlich die Bewertung der einzelnen Strategien vorgenommen werden.

Für die Bewertung wurden die von den einzelnen Strategien beeinflussten Kosten und die zu ihrer Berechnung nötigen Parameter identifiziert, die das Simulationsmodell oder eine Datenbank zur Verfügung stellen muß. Anhand der so gewonnenen Daten wurde eine Möglichkeit vorgestellt, die es erlaubt, die gesamten relevanten Kosten der möglichen Migrationsstrategien zu erfassen und die für die jeweils betrachtete Strategie nicht relevanten Kosten außer acht zu lassen.

Dieses Verfahren geht so vor, daß zunächst die von der Migrationsstrategie beeinflussten Aufträge und die von diesen Aufträgen belegten Produktionsmittel identifiziert werden. Für diese Aufträge werden dann die anfallenden Kosten bestimmt. Unberücksichtigt bleiben dabei die Kosten, die ohne Auftreten einer Störung oder Änderung im Produktionsablauf in jedem Fall angefallen wären. Damit ist es möglich, die Kosten des Ausgangszustandes als Bezugsbasis für die Bewertung der verschiedenen Alternativen zu verwenden. Eine Rangfolge der zur Verfügung stehenden Alternativen kann dann anhand der veränderten Kosten gebildet werden. Dieses Verfahren bietet auch die Möglichkeit, bei Kapazitätsengpässen die Alternative zu erkennen, die die geringsten Opportunitätskosten, d.h. den geringsten Nutzenentgang der Engpaßkapazität, aufweist. Einen Überblick über die Systematik zum Vergleich der Kosten der verschiedenen Migrationsstrategien gibt Abbildung 54.

Ökonomische Bewertung von Migrationsstrategien

Strategie	Bezugsobjekt	Kosten	Summe der Kosten
Strategie 1	Auftrag 1	Betriebsmittelkosten Transportkosten Lagerkosten	Summe Auftrag 1
	Auftrag 2	Betriebsmittelkosten Transportkosten Lagerkosten	Summe Auftrag 2
	Auftrag n	Summe Auftrag n
	Strategie 1	sonstige Kosten	Summe Strategie 1
Strategie 2	Auftrag 1	Betriebsmittelkosten Transportkosten Lagerkosten	Summe Auftrag 1
	Auftrag 2	Betriebsmittelkosten Transportkosten Lagerkosten	Summe Auftrag 2
	Auftrag n	Summe Auftrag n
	Strategie 2	sonstige Kosten	Summe Strategie 2

Abbildung 54: Gegenüberstellung der Kosten der Migrationsstrategien

Das hier entwickelte Verfahren zur wirtschaftlichen Bewertung von Migrationsstrategien kann in das bestehende Simulationsmodell zur Regelung zeitvarianter Produktionssysteme integriert werden. Es dient damit der Entscheidungsunterstützung und ergänzt die traditionelle Bewertung (logistische Zielgrößen) um eine kostenrechnerische Betrachtung.

8 Verifikation der Planungsmethode an einem Praxisbeispiel

8.1 Ziel und Vorgehensweise

Anhand eines Beispiels aus der Automobilbranche soll aufgezeigt werden, wie die entwickelte Planungsmethode für die Regelung zeitvarianter Produktionssysteme eingesetzt werden kann. Bei der Umsetzung der Planungs- bzw. Regelungsmethode wurde eine Differenzierung in ein statisches Informationstool (Planungsbasis) und ein dynamisches Experimentiersystem vorgenommen. Die Entwicklung des statischen Planungstools orientiert sich im wesentlichen an den drei entwickelten Planungsphasen: Analyse, Umplanung und Bewertung. Als Umsetzungsplattform dient der Technologiebereich "Rohbau" eines Automobilherstellers. Damit eine dynamische Bewertung der identifizierten Umplanungsmaßnahmen vorgenommen werden kann, wurde der gesamte Rohbaubereich in einem Simulationsmodell abgebildet.

8.2 Ablauf bei der Verifikation

Zur Verdeutlichung des Planungszyklusses ist in Abbildung 55 die Vorgehensweise zur Verifizierung dargestellt. Ausgehend von der Bestimmung der einzelnen Maßnahmen werden erfolgsversprechende Maßnahmen zu einzelnen Migrationsstrategien zusammengefaßt. Die so ermittelten Migrationsstrategien werden im Anschluß mittels eines Simulationsmodells auf deren Durchführbarkeit hin überprüft. Erfolgt keine befriedigende Lösung des Umplanungsproblems werden in einem nächsten Umplanungszyklus weitere Maßnahmen entwickelt und somit ein erneuter Durchlauf gestartet. Ist die beste Migrationsstrategie identifiziert, erfolgt die Umsetzung am eigentlichen Produktionssystem. Dabei findet die Ablaufsimulation betriebsbegleitend statt, um eventuelle Abweichungen von den Sollgrößen möglichst zu einem frühen Zeitpunkt zu identifizieren.

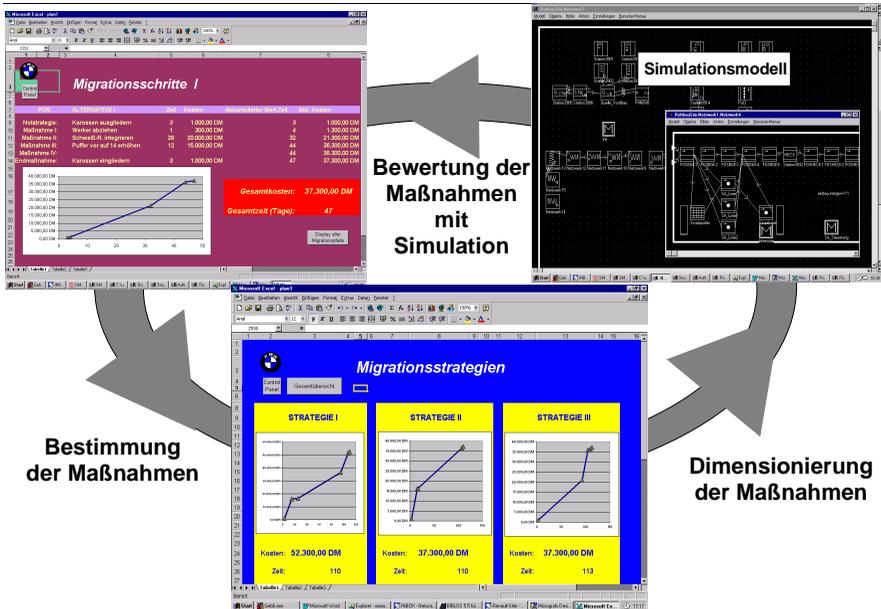


Abbildung 55: Planungszyklus für die Bestimmung der besten Migrationsstrategie

Den Einstieg in die folgenden Abschnitte bildet die Beschreibung des Technologiebereiches "Rohbau" eines Automobilherstellers. Dabei wird speziell der systemtechnische Aufbau des Rohbaubereiches beschrieben. Dieser Ansatz bildet den Ausgangspunkt zur Abbildung der Topologie, sowie zur Ableitung von spezifischen Maßnahmen (vgl. Abschnitt 6.6.4). Die Basis für die Verifizierung stellt die Implementierung der einzelnen in Kap. 6 beschriebenen Phasen (Analyse, Umplanung und Beschreibung) dar. Zur Orientierung für den Planer (Fertigungsplaner) wurde ein "Control Panel" entwickelt. Dieses Panel ermöglicht es dem Planer flexibel zwischen den einzelnen Planungsphase zu wechseln. Inhalt der Analysephase sind die traditionellen Aufgaben des Störungsmanagements (Störungsidentifikation, Störungslokalisierung und Störungsbewertung). In der Umplanungsphase erfolgt die Auswahl der Maßnahmen mit ihren Attributen. Spezifisch für diese Phase ist die freie Wahl der Reihenfolge der zu verfolgenden Maßnahmen. Abgeschlossen wird der Planungszyklus durch die Bewertung. Aufgabe der Bewertung ist es mit Hilfe der Ablaufsimulation einerseits die zeitliche Durchführung der Maßnahmen und andererseits die resultierenden Umplankosten zu bestimmen.

8.3 Aufbau des Bereichs Rohbau

Das Fertigungssystem "Karosserierohbau" ist ein komplexes Gebilde aus vielfältigen Prozessen. Die Systemtechnik hat einen Weg aufgezeigt, das Gesamtsystem in Ebenen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad darzustellen. Dabei werden sämtliche Ebenen von der Teilfunktion "Fertigen" durchdrungen. Die weiteren Funktionen des Gesamtsystems Rohbau, wie Logistik, Qualitätssicherung, Instandhaltung usw. können in gleicher Weise verschiedenen Ebenen zugeordnet werden. Folgende Abbildung 56 stellt die Struktur des Bereichs Rohbaus in unterschiedlicher Detaillierung dar.

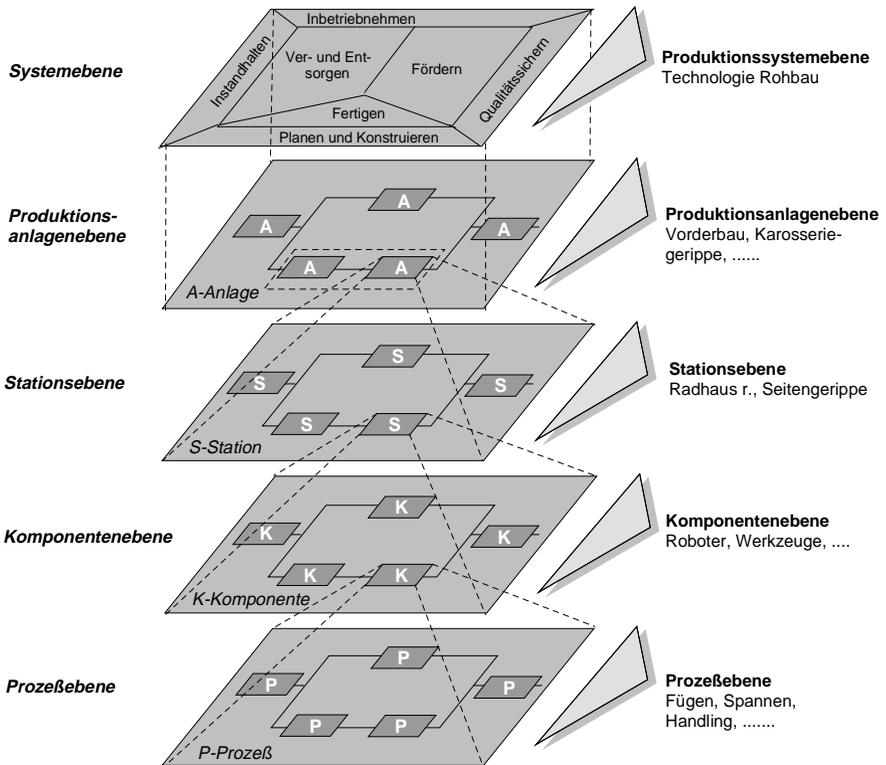


Abbildung 56: Struktur des Gesamtsystems Rohbau in unterschiedlicher Detaillierung

Das Gesamtrohbausystem setzt sich in der Anlagenebene zusammen aus verschiedenen Anlagen, wie z.B. Vorderbau, Hinterbau als Anlagen der Bodengruppenfertigung. Jede Anlage lässt sich aufteilen in Bearbeitungsstationen, die untereinander in Bearbeitungszellen zusammengefaßt werden können. Eine Bearbeitungsstation kann bestehen aus den Komponenten Roboter, Werkzeug und Vorrichtung, die schließlich auf der Prozessebene die Prozesse Einlegen, Spannen, Schweißen, Entnehmen usw. ausführen. Abbildung 57 zeigt die logische Struktur des Technologiebereichs "Rohbau", welche der entwickelten Planungsmethode als Experimentierplattform dient. Die Planungsmethode wird im folgenden an einem spezifischen Umplanungsszenario exemplarisch dargestellt. Der Betrachtungsgegenstand des Umplanungsszenarios ist in der Abbildung 57 dargestellt.

Verifikation der Planungsmethode an einem Praxisbeispiel

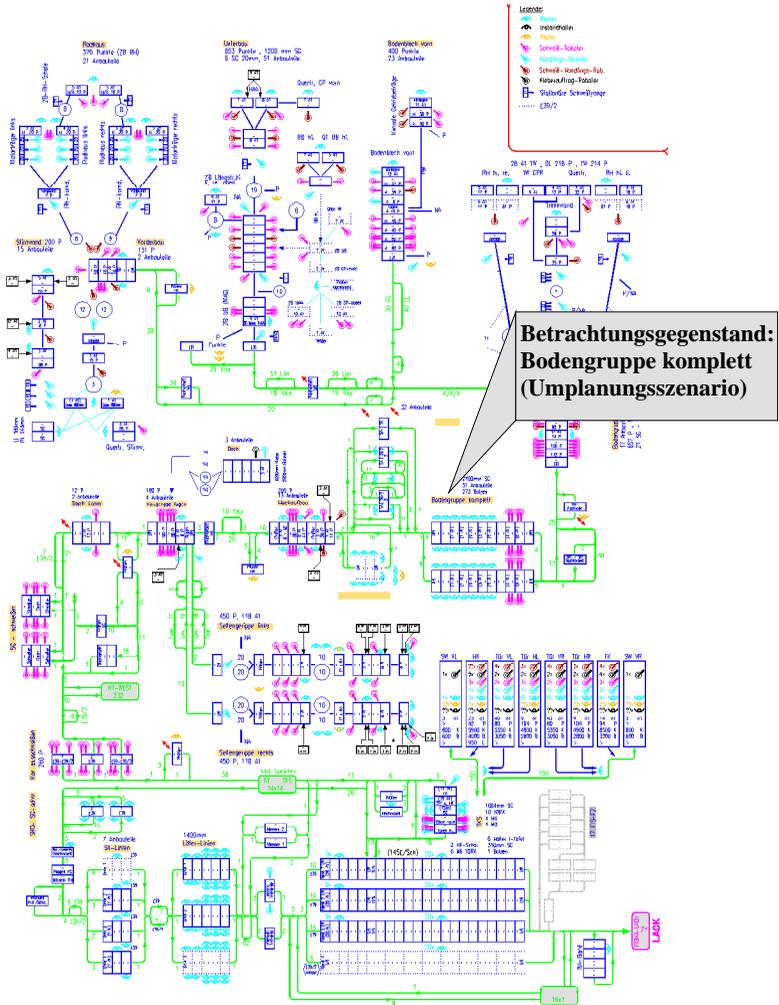


Abbildung 57: Betrachtungsgegenstand: Technologiebereich Rohbau

8.4 Implementierung der Methode

Ausgehend von der in Kapitel 6 entwickelten Planungsmethode wurde diese für Umplanungsmaßnahmen im Bereich Rohbau im Rahmen der Verifizierung umgesetzt. Bei der Implementierung der Methode ergaben sich im wesentlichen zwei Aufgabenbereiche:

1.) *Statisches Informationssystem*: Dieses ermöglicht dem Planer, die Aufgaben des Störungsmanagements (Störungsidentifikation, -lokalisierung, -bewertung) durchzuführen. Im weiteren stellt dieses System die Basis für die direkten Umplanungsmaßnahmen dar. Der Planer wird dahingehend unterstützt, die richtigen Maßnahmen, z.B. Integration bzw. Ersatz einer Maschine, zu identifizieren, die Dimension der Maßnahmen festzulegen und deren zeitlichen Einsatz zu bestimmen. Damit dies gewährleistet werden kann, wurden sämtliche strukturellen bzw. statischen Informationen in der Planungsbasis abgebildet, wie z.B. die Arbeitsinhalte der einzelnen Stationen.

2.) *Dynamische Bewertung der Maßnahmen*: Damit die Erfolgsaussichten der so identifizierten Maßnahmen schon in frühen Phasen bewertet werden können, wurde der gesamte Rohbaubereich in einem diskreten Simulationsmodell abgebildet. Betrachtungsgegenstand bei der Modellierung waren dabei die Stations- und die Anlagenebene. Im Zuge der Interaktion zwischen Planungs- und Bewertungstool (Simulation) müssen spezifische Informationen erzeugt bzw. ausgetauscht werden. Diese ergeben sich aus der Parametrisierung der Maßnahmen, wie z.B. die Bestimmung der Reihenfolge der Maßnahmen oder die Festlegung des günstigsten Ersatzzeitpunktes einer Maschine. Die Simulation gibt zu diesem Zeitpunkt die Information zur Erfüllung bzw. Erreichung der Sollwerte.

8.5 Umsetzung der Planungsphasen

Die Planungsmethode orientiert sich an den drei Phasen zur Ermittlung von Migrationsstrategien. In der *Analysephase* werden primär die Aufgaben des Störungsmanagement verfolgt. Aufgabe der zweiten Phase ist die Ermittlung der *Umplanungsmaßnahmen*. Wesentliches Charakteristikum dieser Phase ist die Darstellung der einzelnen Maßnahmen mit deren Soll- und Ist-Werten. Nach der Identifikation der signifikanten Maßnahmen werden diese in der letzten Phase der Bewertungs- bzw. Migrationsphase in deren zeitlichen Reihenfolgen abgestimmt. Abbildung 58 zeigt das im Rahmen der Umsetzung realisierte "Control PANEL". Dadurch wird es dem Planer ermöglicht, Modifikationen in den unterschiedlichen Planungsphasen vorzunehmen. Durch die Auswahl der spezifischen Bereiche kann der Planer je nach Planungsfortschritt in den unterschiedlichen Phasen Modifikationen vornehmen.

CONTROL PANEL

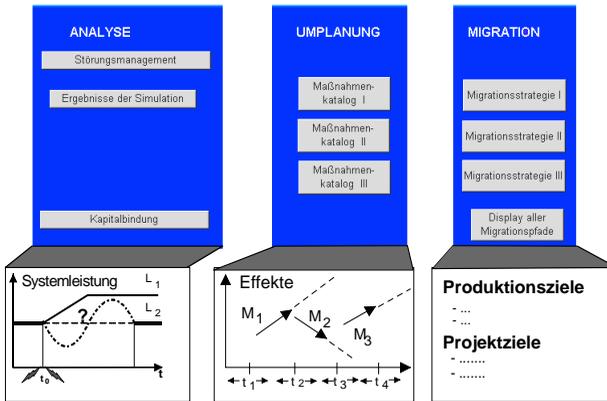


Abbildung 58: "Control Panel" für das statische Informationssystem

Um die Verifizierung der Planungsmethode am konkreten Beispiel nachvollziehen zu können, soll eine vereinfachte Darstellung des Fertigungsablaufes der Technologie Rohbau für die Bodengruppen-Fertigung dargestellt werden (vgl. Abbildung 59). Die nachfolgenden Erläuterungen beziehen sich auf dieses Anwendungsbeispiel. Die Einzelbauteile werden auf der untersten Ebene zu sog. ZB's (Zusammenbaugruppen) gefügt. In Verbindung mit weiteren Bauteilen werden die Baugruppen in einer fest definierten Reihenfolge (Fügefolge) weiterverarbeitet. Je nach Anzahl der Einzelteile, die in einer Anlage gefügt werden, unterscheidet sich die Komplexität derselben teilweise erheblich.

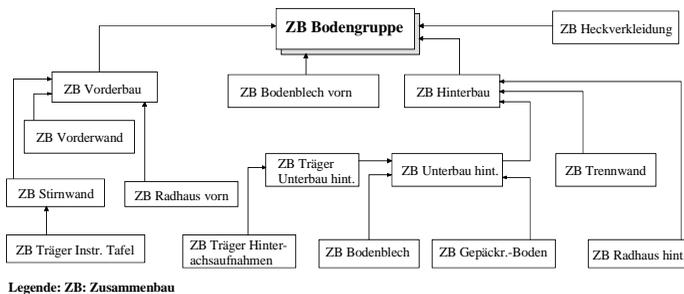


Abbildung 59: Fertigungsablauf Bodengruppe-Fertigung

Die Basis aller Umplanungsmaßnahmen bildet die hinterlegte Datenstruktur. Die Abbildung der Struktur des Rohbaubereichs orientiert sich an den unterschiedlichen Detaillierungsebenen, wie in Abbildung 56 dargestellt. Bei der Abbildung der Struktur wurden sämtliche Komponenten des Fertigungssystems den einzelnen Anlagen zugeordnet. Bei diesen Komponenten handelt es sich primär um Roboter (Schweiß- Handlingsroboter, Schweißzangen), Puffer und die in der Anlage beschäftigten Werker. Damit den einzelnen Anlagen auch Funktionen zugeordnet werden können, wurden für sämtliche Anlagen die entsprechenden Anbauteile (AT) in ihrer Spezifikation und Anzahl angegeben. Abbildung 60 zeigt einen Auszug der implementierten Datenstruktur.

Pos	Ebene	Para	3	4	5	Anlage	Anz.	Vorgang	Gruppe	Bauteil	AT-Nummer	K1	K2
1	7	2					1	Vorgang 7	Bodengruppe	komplett	8203908	9 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 7	Bodengruppe	komplett	8186471	9 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 7	Bodengruppe	komplett	8186472	9 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 7	Bodengruppe	komplett	8203909	9 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 7	Bodengruppe	komplett	8203910	9 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 7	Bodengruppe	komplett	8203911	9 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 7	Bodengruppe	komplett	8203912	9 AT	-
1	7	2				Werker	1	Vorgang 8	Bodengruppe	komplett		1 AT	-
1	7	2				Werker	1	Vorgang 8	Bodengruppe	komplett		1 AT	-
1	7	2				Werker	1	Vorgang 8	Bodengruppe	komplett	8165630	7 AT	-
1	7	2				Werker	1	Vorgang 8	Bodengruppe	komplett		7 AT	-
1	7	2				Werker	1	Vorgang 8	Bodengruppe	komplett		7 AT	-
1	7	2				Werker	1	Vorgang 8	Bodengruppe	komplett		7 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 9	Bodengruppe	komplett	8216205	7 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 9	Bodengruppe	komplett	8216206	7 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 9	Bodengruppe	komplett	8172453	7 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 9	Bodengruppe	komplett	8159451	7 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 9	Bodengruppe	komplett	8189352	7 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 9	Bodengruppe	komplett	8189051	7 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 9	Bodengruppe	komplett	8202514	7 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 9	Bodengruppe	komplett	8202515	7 AT	-
1	7	2					1	Vorgang 10	Bodengruppe	komplett			
1	7	2				Werker	1	Vorgang 10	Bodengruppe	komplett			
1	7	2				Werker	1	Vorgang 11	Bodengruppe	komplett			
1	7	2				Werker	1	Vorgang 11	Bodengruppe	komplett			
1	7	2				Puffer	1	Vorgang 11,5	Bodengruppe	komplett			
1	7	1				Puffer	1	Vorgang 0,5	Bodengruppe	komplett			
1	7	1				Luft	1	Vorgang 1	Bodengruppe	komplett		-	Luft
1	7	1				Schweiß- Roboter	1	Vorgang 2	Bodengruppe	komplett		8 AT	-
1	7	1					1	Vorgang 6	Bodengruppe	komplett		3 AT	-
1	7	1				Werker	1	Vorgang 6	Bodengruppe	komplett	818833	3 AT	-
1	7	1				Werker	1	Vorgang 6	Bodengruppe	komplett	1883594	3 AT	-
1	7	1				Werker	1	Vorgang 6	Bodengruppe	komplett	1883594	3 AT	-
1	7	1				Werker	1	Vorgang 6	Bodengruppe	komplett	1883594	5 AT	-
1	7	1					1	Vorgang 4	Bodengruppe	komplett			
1	7	1					4	Vorgang 3	Bodengruppe	komplett	1883594	8 AT	-
1	7	1				Schweiß- Roboter	1	Vorgang 3	Bodengruppe	komplett		8 AT	-
1	7	1				Schweiß- Roboter	1	Vorgang 3	Bodengruppe	komplett		8 AT	-
1	7	1				Schweiß- Roboter	1	Vorgang 3	Bodengruppe	komplett		8 AT	-
1	7	1				Schweiß- Roboter	1	Vorgang 3	Bodengruppe	komplett		8 AT	-

Für Vorgang 7:
7 unterschiedliche
Anbauteile je 9 mal verbaut

Anbauteil (AT)- Nummer
Dient zur Identifikation der
"kritischen" Anbauteile

Spezifischer Vorgang i
für Bodengruppe komplett

Beschreibung des Systems auf
Stationsebene
z.B: Bodengruppe komplett

Beteiligte(r) Produktionsfaktor(en)
z.B: Werker

Abbildung 60: Auszug aus der Datenstruktur für die Planungsbasis

8.5.1 Beispielszenario für die Planungsmethode

Die nachfolgende Verifikation bezieht sich zum besseren Verständnis nur auf die Stationsebene des Rohbaubereiches und hier im speziellen auf die **ZB Bodengruppe** (vgl. Abbildung 59). Als Initialauslösung wird eine Störung bzw. Umplanung der **ZB Bodengruppe** im laufenden Betrieb angenommen. Die Umsetzung der Planungsmethode wird nachfolgend speziell anhand dieses "Störungsfalles" beschrieben.

8.5.2 Analysephase

In der Analysephase findet zu Beginn die eigentliche *Störungsidifikation* statt. Die Störungsmeldung kann durch eine mündliche Meldung bzw. durch die BDE/MDE - Erfassung erzeugt werden. Um den Ort der Störung und deren Konsequenzen beurteilen zu können, erfolgt in der nächsten Phase des Störungsmanagements die *Störungslokalisierung*. Die Störungslokalisierung ist in Abbildung 61 beschrieben. Mit Hilfe des systemtechnischen Ansatzes kann durch ein "Top-down"- Analyse der Fehlerort identifiziert werden. Dieser ergibt sich auf der Stationsebene 7, nämlich *Bodengruppe komplett* und *Vorgang 7*. Dabei werden unter kritischen Bauteile jene Anbauteile verstanden, welche nicht durch Redundanzen abgedeckt sind. Die kritischen Anbauteile können somit nicht durch andere Fertigungseinheiten produziert werden. Diese kritischen Anbauteile zu identifizieren wird in der *Störungslokalisierung* beschrieben. Es wurden insgesamt 9 Anbauteile (AT) identifiziert, wobei ein Anbauteil mit Nr. 8186472 als kritisch bewertet wurde.

Analysephase: Identifikation der kritischen Anbauteile (AT)

Stationsebene 7

Bodengruppe komplett **Vorgang 7**

Identifikation der zu beplanenden Stationsebene 9 AT

Identifikation der kritischen Anbauteile

Anbauteile	Auftragsnummer	kritisch	kritischen Auftrags
8203908	1234	unkritisch	
8186472	0	unkritisch	
8186472	123	kritisch	123
8203909	0	unkritisch	
8203910	1234	unkritisch	
8203911	1234	unkritisch	
8203912	132	unkritisch	
0	0	0	
0	0	0	
8165630	1234	unkritisch	
0	0	0	
0	0	0	
8216205	123	unkritisch	

Abbildung 61: Identifikation der kritischen Anbauteile (AT)

Primäres Ziel dieser Analyse ist die Bestimmung der kritischen Aufträge (Karossen), welche durch diese(s) Anbauteil(e) betroffen sind. Im Rahmen der Verifikation wurde dazu das erstellte Simulationsmodell des Bereichs "Rohbau" herangezogen. Im Rahmen einer weiteren Integration dieser Methode in das betriebliche Umfeld können entsprechende Informationen bzw. Daten aus dem PPS- System ausgelesen werden. (vgl. Abschnitt 8.6). Dabei wird durch eine "Bottom-Up" - Analyse (Zuordnung der Anbauteile zu den einzelnen Aufträgen) in diesem Beispiel der Auftrag mit der Nummer 123 als kritisch identifiziert. Damit die aktuellen Orte der betroffenen Karosserien im Fertigungsablauf bestimmt werden können, werden die Auftragsnummern an das Simulationssystem übermittelt. Als Ergebnis der dynamischen Bewertung wird einerseits die Anzahl (9) und andererseits der momentane Ort der kritischen Karossen dem Planer zur Verfügung gestellt. Abbildung 62 zeigt die Darstellung der Ergebnisse der dynamischen Bewertung. Diese Ergebnisse bilden die Eingangsdaten für die nächste Phase, die eigentliche Umplanungsphase.

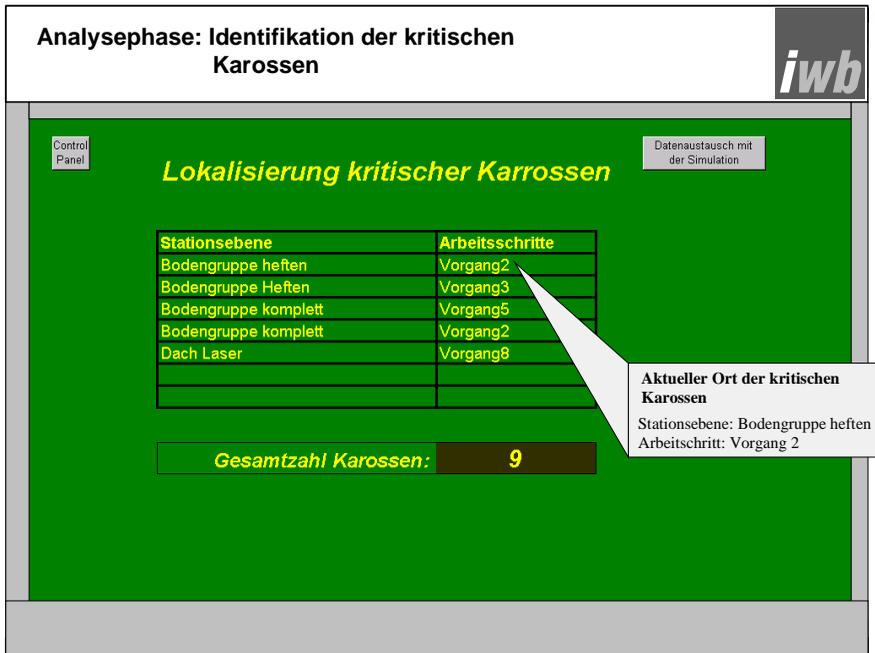


Abbildung 62: Identifikation der kritischen Karossen

8.5.3 Umplanungsphase

Die Aufgabe der Umplanung ist es, die Störungsauswirkung bzw. die identifizierte Störungsursache zu beheben. Ausgehend von der Störungssituation ergeben sich unterschiedliche Entstörstrategien. Dabei kann differenziert werden zwischen Notstrategien zur Aufrechterhaltung der Produktion und Strategien zur mittel- bis langfristigen Störungskompensation. Unterschiedlich ist dabei prinzipiell nur die zeitliche Restriktion. Für die Notstrategien steht dementsprechend wenig Zeit zur Verfügung, d.h. sie müssen ad hoc ermittelt werden. Bei den anderen Maßnahmen ist die zeitliche Restriktion nicht so eng zu sehen. Zur Ermittlung der besten Umplanungsalternativen dient die folgende Abbildung 63. Dabei können ausgehend von der Ist-Situation unterschiedliche Plan- bzw. Soll- Situationen beschrieben werden. Die Planungsgegenstände sind dabei der Personaleinsatz (Werker, Instandhalter und Prüfer) und technische Komponenten, wie Roboter und Pufferstationen. Speziell für das Umplanungsszenario *Bodengruppe komplett* werden beispielhaft 9 zusätzliche Puffer vor diese Arbeitsstation eingefügt. Diese dienen zur Aufnahme der zuvor identifizierten kritischen Aufträge (Karossen). Je nach Störfallsituation (anderer Störungsort) ergeben sich andere Umplanungsmöglichkeiten. Diese sind durch die aktuellen Ist- Wert der Planungsgegenstände angegeben. Zu den einzelnen Umplanungsmaßnahmen werden zusätzlich die Umplanungskosten berechnet (vgl. Kap. 7). Diese Kosten sollen als zusätzliche Entscheidungsunterstützung dienen. Da zur Behebung von Störungen eventuell mehrere unterschiedliche Maßnahmen zum Ziel führen, können auch verschiedenen Umplanungsalternativen von Planer vorgenommen werden. Abbildung 63 zeigt die Planungsobjekte, den Soll- /Ist-Vergleich sowie die resultierende Mehrbelastung durch die Quantifizierung der zusätzlichen Umplanungskosten.

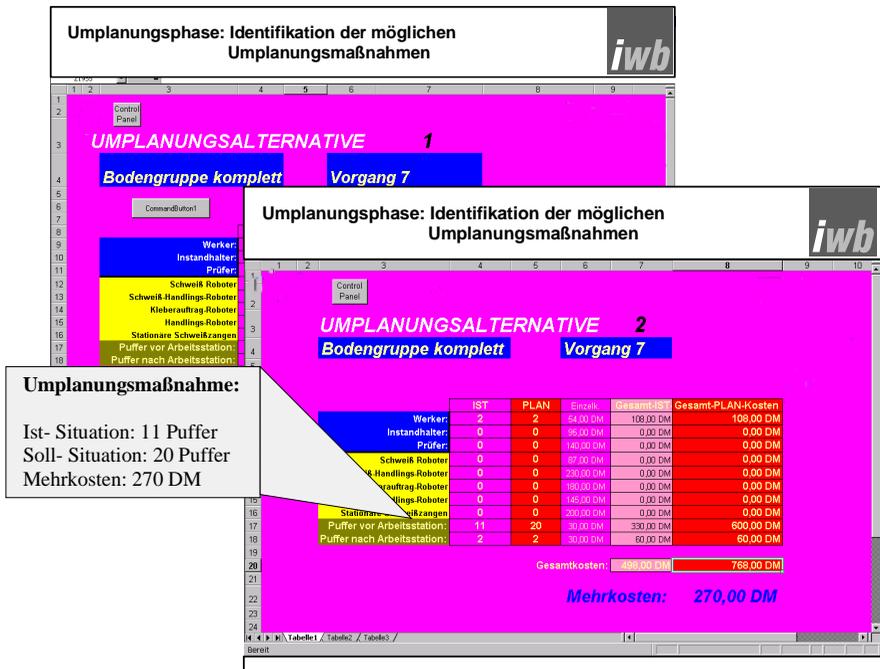


Abbildung 63: Darstellung von unterschiedlichen Umplanungsmaßnahmen

8.5.4 Bewertungsphase

Nach der Identifikation der Umplanungs-elemente stellt sich die Frage nach der zeitlichen Abfolge der einzelnen Maßnahmen, also nach der Ermittlung der Migrationsstrategien. Wesentliche Aufgabe dieser Planungsphase ist die Ermittlung des günstigsten Migrationspfades. Dieser beste Migrationspfad kann sich aus unterschiedlichen Zielgewichtungsfaktoren ergeben. Diese Faktoren sind primär die Umplanungskosten bzw. die dazu benötigte Umplanungszeit. Ausgehend von diesen Anforderungen können in dieser Planungsphase die ermittelten Maßnahmen in ihrer Reihenfolge, Dimensionierung und zeitlichen Abfolge variiert werden. Der Planer wird durch die Sortierungsfunktion in der Wahl der Reihenfolge der Maßnahmen unterstützt und kann das Ergebnis seiner Umplanungsaktivitäten auch in graphischer Form darstellen. Bei dieser Darstellung werden die Umplanungskosten und die zeitliche Inanspruchnahme dargestellt. Explizit zum Vergleich mit anderen Migrationsstrategien werden die ermittelte Umplanungszeit und die Gesamtkosten der Umplanung angezeigt. Abbildung 64 zeigt die zwei mögliche Mi-

grationsstrategien zur Überführung eines Produktionssystems in einen neuen Betriebszustand.

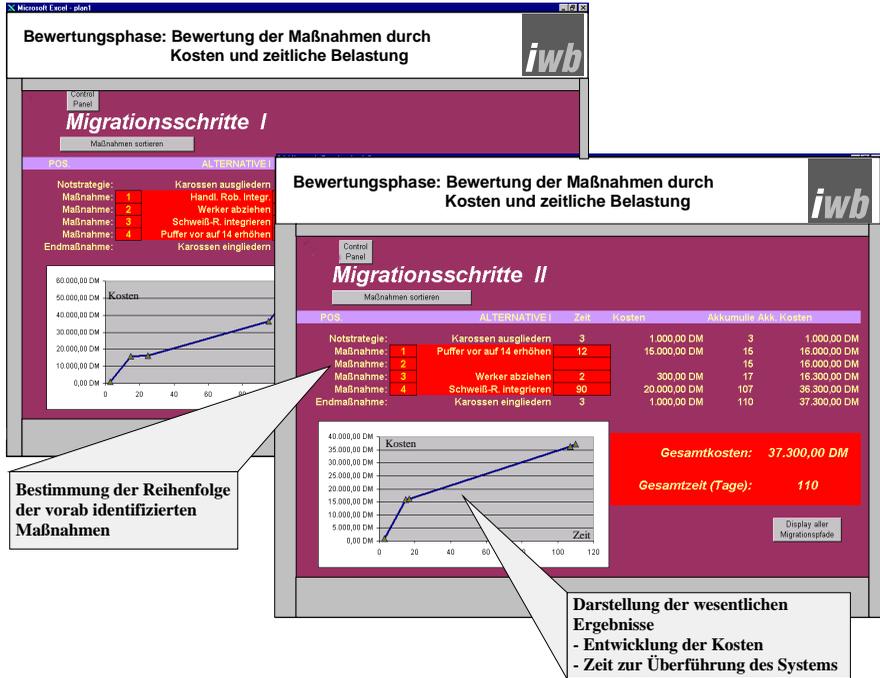


Abbildung 64: Bewertung der Migrationsstrategien

Zur endgültigen Bewertung bzw. Auswahl der besten Migrationsstrategien erfolgt eine gemeinsame Darstellung aller "möglichen" Migrationsstrategien. Als Entscheidungskriterium für die besten Migrationsstrategien dienen die benötigte Umplanungszeit und die dabei realisierten Umplanungskosten. Die gemeinsame Darstellung der Migrationsstrategien soll dem Planer eine zusätzliche Entscheidungsunterstützung bieten. Bei der Entscheidung für eine Migrationsstrategie darf dabei nicht die allgemeine Bereichs- bzw. Unternehmenszielsetzung außer acht gelassen werden. Das bedeutet, daß aufgrund unternehmensspezifischer Gegebenheiten eine Entscheidung für einen aus der Sicht des Planungstools nicht optimalen Migrationspfad getroffen wird. In diesem Zusammenhang wird klar, daß dieses System den Planer in seiner Entscheidung unterstützen soll, aber auf keinen Fall ersetzen wird. Abbildung 65 stellt die Ergebnisse der einzelnen Migrationspfade dar.

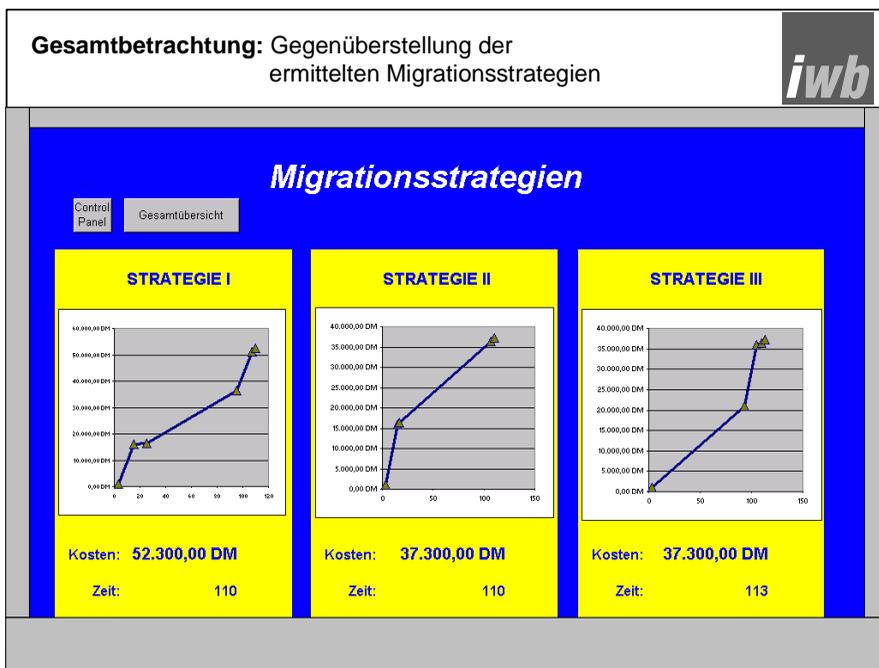


Abbildung 65: Gegenüberstellung der einzelnen Migrationsstrategien

8.6 Bewertung der Methode

Eine objektive, rein quantitative Bewertung der Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme ist aufgrund der fehlenden identischen Durchführung eines vergleichbaren Umplanungsprojektes bei den gleichen Randbedingungen nicht möglich. Da eine redundante Planung aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist werden im folgenden der Nutzen und die zu erreichenden Verbesserungspotentiale aufgezeigt.

Durch diese Arbeit wird auf dem Forschungsgebiet der *Produktionsregelung* ein zusätzlicher Beitrag geleistet. Dieser zusätzliche Nutzen ergibt sich aus der Berücksichtigung von sich stark ändernden Produktionsbedingungen in einem turbulenten Umfeld.

Als konkretes Ergebnis wird eine *Methode* zur Planung des Betriebszustandswechsels zur Verfügung gestellt. Die entwickelte Planungsmethode steht zur Integration in die betrieblichen Abläufe sowie zur Integration in kommerzielle Produkte der Produktionsleit-

technik zur Verfügung. Einen wesentlichen Vorteil dieser Methode bildet die Berücksichtigung einer ständigen Informationsrückkopplung während der Umplanung bzw. Überführung des Systems in einen neuen Betriebszustand. Dies wurde durch den Entwurf eines kaskadierten Regelungskonzeptes berücksichtigt.

Auch die Betriebssicherheit von Produktionssystemen kann durch die entwickelte Methode erhöht werden. Damit kann eine hohe Wirtschaftlichkeit der Produktion aufrechterhalten werden, auch wenn sie starken marktbedingten Schwankungen unterliegt. Zudem werden die am Markt wahrgenommenen Qualitätsfaktoren Lieferfähigkeit und Liefertreue auch im extrem wechselnden Umfeld positiv beeinflusst.

Weiterhin konnten über die Arbeiten in diesem Forschungsbereich erweiterte Anforderungen an Simulationssoftwaresysteme definiert werden. Durch die Zusammenarbeit mit einem Simulationssoftwarehersteller wurde gewährleistet, daß diese Ergebnisse in marktverfügbare Systeme einfließen werden.

In der Konsequenz beschränkt sich die Bewertung der Methode auf einen qualitativen Aufwands-Nutzen-Vergleich, sowie einer subjektiven Einschätzung der Vorteile während der Abwicklung des Initialprojektes. Abbildung 66 stellt das qualitative Aufwand-Nutzen-Verhältnis dar.

Aufwand	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> • Erstellung eines Simulationsmodells für den betrachteten Bereich • Zusatzaufwand gegenüber konventioneller Umplanung durch verstärkten Methodeneinsatz • Erhöhter Zeiteinsatz in den frühen Planungsphasen • Anbindung des Simulationsmodells an die MDE/BDE • Integration der Planungsmethode in das bestehende PPS 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimentierplattform in frühen Planungsphasen • Einsparungspotential durch Entfall von Optimierungsschleifen • Geringe Fehler-, Fehlerfolgekosten • Erhöhung der Transparenz bei Umplanungen • Quantitative Bewertung (Kosten etc.) in frühen Planungsphasen • Erfahrungsgewinn der Mitarbeiter • Kontinuierliche Überwachung des Umstellungsprozesses • Flexible Adaption bei sich ändernden Randbedingungen

Abbildung 66: Qualitativer Aufwand-Nutzen-Vergleich der Planungsmethode für zeitvariante Produktionssysteme

Zusammenfassend läßt sich aussagen, daß die entwickelte Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme die betroffenen umzuplanenden Teilbereiche positiv beeinflusst hat. Grundsätzlich ist jedoch der Einsatz dieser Methode wesentlich von der Integration in das betriebliche Umfeld abhängig, wie z.B. die Anbindung an PPS-Systeme zur Aktualisierung der Betriebsdaten. Für den dauerhaften Erfolg des Methodeneinsatzes ist eine weitere Integration der Simulationstechnik in der betrieblichen Alltag notwendig.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Heutige Systeme, die zur Regelung von Produktionssystemen eingesetzt werden, gleichen sich in vielen Punkten. Zum einen sind sie - ihrer Optimierung auf bestimmte Produktionsstrukturen und -verfahren wegen - auf sehr enge Anwendungsbereiche beschränkt, zum anderen beinhalten all diese Ansätze als Grundprämisse die Annahme eines statischen Systems. Änderungen im Produktionsprogramm und in der Produktionsstruktur durch Einführung neuer Technologien, Änderungswünsche seitens der Kunden nach angelaufener Produktion u.ä. werden bei diesen Regelungskonzepten nicht berücksichtigt.

Ziel dieser Arbeit war es, die Unzulänglichkeiten dieser auf statische Strukturen ausgelegten Systeme durch die explizite Berücksichtigung der Konsequenzen zeitvarianter Produktionsstrukturen und -strategien zu beheben.

Zur Erweiterung der bisher auf einen stationären Betriebszustand ausgelegten Produktionsregelungsverfahren wurde eine Planungsmethode entwickelt, welche es ermöglicht, den Übergang von Produktionssystemen in einen neuen Betriebszustand zu planen und geregelt durchzuführen.

Aufgrund der unterschiedlichen zeitlichen Anforderungen bei der Planung und Umsetzung des Maßnahmenkataloges (Migrationsstrategie) wurde ein kaskadierter Regler entworfen. Den Kernbereich bildet der bereichsübergreifende Regler, welcher die entwickelte Planungsmethode beinhaltet.

Die eigentliche Planungsmethode setzt sich aus drei Phasen zusammen: Analyse-, Umplanungs- und Bewertungsphase, von denen jede bereits zur Reduzierung der Komplexität und damit zur Erhöhung der Transparenz beiträgt. Charakteristisch für den Regelungsansatz ist der sowohl planungs- als auch betriebsbegleitende Simulationseinsatz. Dadurch können einerseits in frühen Phasen genaue Aussage bezüglich der Auswirkungen einzelner Maßnahmen getroffen werden, andererseits auch bei der Umsetzung der zuvor identifizierten Maßnahmen frühzeitig Abweichungen vom Sollverlauf erkannt werden.

Mit dem vorgestellten Verfahren zur wirtschaftlichen Bewertung lassen sich Migrationsstrategien bewerten, unabhängig davon, ob eine Störung unplanmäßig durch den Ausfall einer Produktionsanlage oder planmäßig durch eine gewollte Änderung der Fertigungsstruktur entsteht. Der hier vorgestellte Ansatz zur Bewertung von Migrationsstrategien kann in künftigen Arbeiten je nach Anwendungsfall erweitert und an den jeweiligen Anwendungsfall optimal angepasst werden.

Am Beispiel eines Unternehmens aus der Automobilbranche wurde die Planungsmethode verifiziert. Anhand von Simulationstests und eines Regelungs- und Optimierungsbei-

spiels mit realen Daten zeigte sich die Eignung und Fähigkeit der Planungsmethode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme.

Abbildung 67 zeigt eine Zusammenfassung der Vorgehensweise und der Ergebnisse dieser Arbeit.



Abbildung 67: Überblick zur Vorgehensweise und den Ergebnissen

9.2 Ausblick

Die vorgestellte Systematisierung praxisrelevanter Störungen kann durch den Vergleich mit weiteren realen Störungsdaten unterschiedlicher PPS- Betriebstypen erweitert werden. Nach einer statistischen Auswertung dieses Zahlenmaterials kann für einzelne Betriebstypen eine Liste praxisrelevanter Störungen erstellt und können durch Befragungen von Mitarbeitern im Bereich Planung und Störungsbehebung Standard-Maßnahmenkataloge zur Störungsbeseitigung erarbeitet werden.

Ein wesentlicher Schritt zur Weiterentwicklung dieses Konzeptes wird die "zeitvariante" Abbildung eines einfachen Produktionssystemes im Simulationsmodell sein, da sowohl die Beurteilung der Konsequenzen von Störungen als auch die Auswahl geeigneter

Maßnahmen zur Störungskompensation bzw. zum Wechsel des Betriebszustandes auf die Ergebnisse einer Simulation gestützt werden.

Zur vollständigen Integration in den beruflichen Alltag ist die vorgestellte Methode durch zusätzliche Beispiele zu "teachen". Anhand dieser resultierenden großen Anzahl von Änderungen des Modell-Produktionssystems können die Ablaufschemata überprüft, angepaßt und erweitert werden. Als mögliche Änderungen kommen dazu zum einen klassische Störungen leichter und schwerwiegender Natur, zum anderen gewollte Änderungen in Frage.

Voraussetzung für die operative Implementierung des Gesamtkonzeptes in einem realen Industriebetrieb ist die Planung der institutionellen Integration der einzelnen Elemente bzw. Funktionen dieses Konzeptes. Dazu empfiehlt sich die Erarbeitung eines umfassenden Controlling- Konzeptes auf Basis dieser Planungs- und Regelungsmethode. Um die vorgesehene Regelung auf Bereichsebene sowie auf bereichsübergreifender Ebene umsetzen zu können, bietet sich der Aufbau von übergeordneten Planungs- Leitständen und bereichsspezifischen, untergeordneten Produktions- und Controlling- Leitständen an.

Da das KZS bislang in erster Linie technische und logistische Kenngrößen enthält, sollte dieses als Grundlage für eine monetäre Beurteilung von Maßnahmenwirkungen um Kostenkriterien, Produktivitäts- und Wirtschaftlichkeitskennzahlen erweitert werden. Dieser Schritt steht in engem Zusammenhang mit dem Aufbau eines Controlling-Ansatzes.

10 Literaturverzeichnis

AMANN 1994

Amann, W.: Eine Simulationsumgebung für Betrieb und Planung von Produktionsanlagen. Springer-Verlag: Berlin 1994 (iwb Forschungsberichte Nr.71)

BAMBERGER 1996

Bamberger, R.: Entwicklung eines Werkzeuges zum Management in der Produktionsregelung. Berlin: Springer, 1996 (IPA-IAO Forschung und Praxis 234)

BIERI 1995

Bieri, B.: Kybernetisches Produktions-Controlling mit Hilfe von Kennzahlen. Bamberg: Difo-Druck, 1995. (Dissertation der Hochschule St. Gallen für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften 1654)

BRYSON & HO 1969

Bryson, A.E., Ho, Y.C.: Applied Optimal Control Waltham: Blaisdell, 1969.

BLUMBERG 1991

Blumberg, F.: Wissensbasierte Systeme in der PPS. Heidelberg: Physika, 1991. (Wirtschaftswissenschaftliche Beiträge 54)

BULIRSCH & KRAFT 1994

Bulirsch, R.; Kraft, D. (Hrsg.): Computational Optimal Control. Basel: Birkhäuser, 1994.

BULLINGER 1990

Bullinger/Kornwachs: Expertensysteme, Stuttgart (1990)

BURGER 1992

Burger, A.: Entscheidungsorientierte Kostenrechnung für die flexibel automatisierte Fertigung. 1. Auflage Stuttgart: Schäfer-Poeschel, 1992

BURGER 1991

Burger, C.: Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen. Berlin: Springer, 1991. (iwb Forschungsberichte 72)

BÜDENBENDER 1991

Büdenbender, W.: Ganzheitliche Produktionsplanung und -steuerung. Berlin: Springer, 1991

COENENBERG 1993

Kostenrechnung und Kostenanalyse, 2. Durchgesehene Auflage, Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie 1993

CORDES 1993

Cordes, H.-T.: Entwicklung eines computergestützten integrierten Logistikkonzeptes für Unternehmen der industriellen Fertigung. Bamberg: Difo-Druck, 1993. (Dissertation der Hochschule St. Gallen für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften 1429)

DÄUMLER 1992

Däumler, K.-D.: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, 7. Vollständig überarbeitete Auflage, Herne: Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, 1992

EVERSHEIM 1989

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik, Fertigung und Montage, VDI 1989

EVERSHEIM 1995

Eversheim, W.: Prozeßorientierte Unternehmensorganisation, Konzepte und Methoden zur Gestaltung schlanker Organisation, Springer-Verlag, Berlin u.a. 1995

FELDMANN 1992

Feldmann, K.; Abels, S.: Automated Generation of Simulation Models - Support to Planners and Simulation Experts. In: Proc. of the 1992 European Simulation Multiconference, Simulation Councils Inc., San Diego, USA 1992, S. 513 - 517

FELDMANN 1997

Feldmann, K.; Rauh, E.; Wunderlich, J.: Einsatzfelder und Erfolgsfaktoren der Simulationstechnik. In: Simulationstechnik, 11. Symposium in Dortmund, Vieweg Verlag, Wiesbaden 1997, S. 552 - 557

FLEMING & RISHEL 1975

Fleming, W.H., Rishel, R.W.: Deterministic and Stochastic Optimal Control. Berlin: Springer-Verlag, 1975

FÖLLINGER 1990

Föllinger, O.: Regelungstechnik. Heidelberg: Hüthig, 1990.

GLASER 1991

Glaser, H., Geiger, W. et al.: PPS- Produktionsplanung und -steuerung – Grundlagen, Konzepte, Anwendungen. 1. Auflage Wiesbaden: Gabler, 1991

GEISS 1986

Geiss: Betriebswirtschaftliche Kennzahlen: Theoretische Grundlagen einer problemorientierten Kennzahlenanwendung. Frankfurt a.M.: Lang, 1986

GRACE 1992

Grace, A.: Optimization Toolbox User's Guide. Natick: The Mathworks, 1992.

GRAF 1991

Graf, K.-R.: Systematische Untersuchung von Einflußgrößen einer Fertigungssteuerung nach dem Zieh- und Schiebepnzprinzip. Karlsruhe: Schnelldruck Ernst Grässer, 1991

GRIFFEL 1998

Griffel, N.: Von der Planung bis zum Betrieb – Integration der Ablaufsimulation in den betrieblichen Alltag bei BMW; ASIM-Fachtagung; Simulation und Logistik, Berlin, Februar 1998

GROSCHKE ET AL. 1995

Grosche, G. Ziegler, V., Ziegler, D., und Zeidler, E.: Teubner-Taschenbuch der Mathematik. Stuttgart: Teubner, 1995.

GROTH 1992

Groth, U.; Kammel, A.: Kennzahlenverfahren zur Beurteilung und Analyse einer Fertigung. REFA-Nachrichten (1992) 3, Seite 4-9

GÜNZEL 1993

Günzel, H.: Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative und strategische Probleme der PPS. München: Hanser, 1993. (Fertigungstechnik Erlangen 34)

HABERSTOCK 1986

Haberstock, L.: Kostenrechnung II – (Grenz-) Plankostenrechnung, 7. Auflage, Hamburg: S+W Steuer- und Wirtschaftsverlag, 1986

HACKSTEIN 1989

Hackstein, R.: PPS – Ein Handbuch für die Betriebspraxis. 2. Auflage Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989

HEINEN 1991

Heinen, E.: Industriebetriebslehre: Entscheidungen im Industriebetrieb. 9. Auflage Wiesbaden: Gabler, 1991, Seite 583

HEITMANN 1997

Heitmann, K.: Ablaufsimulation leicht gemacht. Die Neue Fabrik – Modellfabrik als Denkmodell. Mi Sonderpublikation 1997, Seite 48-50

HORVARTH/MAYER 1989

Horvath, P.; Mayer, R.: Prozeßkostenrechnung – Der neue Weg zu mehr Kostentransparenz und wirkungsvolleren Unternehmensstrategien, in: Controlling, Heft 4, Juli 1989, Seite 214-219

HUBER 1990

Huber, A.: Wissenbasierte Überwachung und Planung in der Fertigung. 1. Auflage Berlin: Erich Schmidt, 1990, Seite 32 ff

JANG & GULLEY 1995

Jang, J.S.R., Gulley, N.: Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. Natick: The Mathworks, 1995.

KAHLE 1996

Kahle, E.: Produktion: Lehrbuch zur Planung der Produktion und Materialbereitstellung. 4. Auflage München: Oldenbourg 1996

KLEYMAN & MOCHALOV 1994

Kleyman, Y.; Mochalov, I.: Identification of nonstationary system. Automation and Remote Control 55 (1994), S. 149-163.

KILGER 1993

Kilger, W.: Flexible Plankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung, 10. Vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Gabler 1993

KLOCK/SIEBEN/SCHILDBACH 1991

Klock, J.; Sieben, G.; Schildbach, T.: Kosten- und Leistungsrechnung, 6. Überarbeitete und erweiterte Auflage, Düsseldorf: Werner 1991

KUHN 1993

Kuhn, A.; Reinhardt, A.; Wiendahl, H.-P.: Fortschritte in der Simulationstechnik, Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik. Vieweg, Braunschweig 1993

- KUHN 1998
Kuhn, A.; Rabe, M.: Simulation in Produktion und Logistik. Fallbeispielsammlung. Berlin u.a., Springer 1998
- KURBEL 1993
Kurbel, K.; Endres, A.: PPS – Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen. In: Handbuch der Informatik, Band 13.2. 1.Auflage München: Oldenbourg, 1993
- LEHMANN 1992
Lehmann, F.: Störungsmanagement in der Einzel- und Kleinserienmontage. 1992
- LJUNG 1987
Ljung, L.: System Identification: Theory for the User. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1987.
- LOOKS 1996
Looks, H.: Kennzahlen für Fertigungsinseln. Management-Zeitschrift IO (1996) 3. Seite 71 – 74
- LORENZEN 1996
Lorenzen, J.: Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen, Diss. München 1996
- LUTZ 1996
Lutz, B.: Produzieren im 21. Jahrhundert. Herausforderungen für die deutsche Industrie (1996)
- LULAY/MÖßMER/RUDORFER 1998
Lulay, W.; Mößmer, H.-E.; Rudorfer, W.: Newsletter: Ablaufsimulation – Leistungsfähiges Werkzeug zur Optimierung von Produktionssystemen, 1998
- MARTIN 1998
Martin, C.: Produktionsregelung – ein modularer, modellbasierter Ansatz. Springer-Berlin 1998 (iwb-Forschungsberichte Nr. 113)
- MERTENS 1988
Mertens, H.; Rose et.al.: Betriebliche Expertensystemanwendungen, eine Materialsammlung. Berlin (1988)
- MERTINS ET AL. 1994
Mertins, K., Süßenguth, W., Jochem, R.: Modellierungsmethoden für rechnerintegrierte Produktionsprozesse. München: Hanser 1994.
- MILBERG 1991
Milberg, J.; Burger, C.: Simulation als Hilfsmittel für die Produktionsplanung und –steuerung; In: Zwf 86 (1991) 2, Seite 76-79
- MÖßMER 1998 A
Mößmer, H.-E.: Flexible Zukunft. Logistik Heute; Seite 47-49 (1998) 4;
- MÖßMER 1998 B
Mößmer, H.-E.: Tagung: Simulation und Visualisierung '98 mit: Einsatz der Simulation bei zeitvarianten Produktionsstrukturen, Magdeburg 1998

MÖßMER 1998 C

Mößmer, H.-E.: Tagung: Simulationstechnik, 12. Symposium in Zürich '98 mit: Planungssystematik für die simulationsbasierte Regelung zeitvarianter Produktionssysteme, Zürich 1998

MÖßMER & REINHART 1999

Mößmer, H.E., Reinhart, G.: Controlling bei Produktionsstrukturänderungen. In: Controlling Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung, 2. Quartal 1999

NITTKA 1996

Nittka, F.: Koordinierung der Fertigung in teilautonomen Bereichen durch Bestandsregelung und Simulation. Dissertation RWTH Aachen. Fortschr. Betr. VDI, Reihe 2 Nr. 371. Düsseldorf: 1996

NYHUIS 1994

Nyhuis, P.: Quantifizierung logistischer Rationalisierungspotentiale mit Betriebskennlinien. Zeitschrift für Betriebswirtschaft (1994) 4, Seite 443-464

PAULIK 1984

Paulik, R.: Kostenorientierte Reihenfolgeplanung in der Werkstattfertigung, Regensburger Beiträge zur Betriebswirtschaftlichen Forschung, Bern: Haupt, 1984

PETERMANN 1996

Petermann, D.: Modellbasierte Produktionsregelung. Dissertation Universität Hannover. Fortschr.-Ber. VDI, Reihe 20, Nr.193. VDI-Verlag Düsseldorf 1996.

PICOT 1996

Picot, A. u.a.: Die grenzenlose Unternehmung: Information, Organisation und Management. 2. Auflage Wiesbaden: Gabler 1996, Seite 528

PICOT/REICHWALD/WIEGAND 1996

Picot, A.; Reichwald, R.; Wiegand, R.: Die grenzlose Unternehmung, Wiesbaden: Gabler, 1996

RAUH 1998

Rauh, E.: Methodische Einbindung der Simulation in die betrieblichen Planungs- und Entscheidungsabläufe. Hrsg. K. Feldmann. Bamberg: Meisenbach, 1998

REICHMANN 1995

Reichmann, T.: Controlling mit Kennzahlen und Managementberichten. 4. Auflage München: Vahlen, 1995

REICHMANN 1997

Reichmann, T.: Controlling mit Kennzahlen und Managementberichten, 5. Überarbeitete und erweiterte Auflage, München: Vahlen 1997

REINHART 1997 A

Reinhart, G.; Feldmann, K.: Simulation- Schlüsseltechnologie der Zukunft. Stand und Perspektiven. (Studie/FAPS; iw) München: Utz, Wiss. 1997

REINHART 1997 B

Reinhart, G.: Innovative Prozesse und Systeme - Der Weg zur Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. In: Milberg, J.; Reinhart, G.: Mit Schwung zum Aufschwung, Referate des Münchener Kolloquiums 97 S. 173-204, München. Landsberg/Lech, mi, Verl. Moderne Industrie 1997

REINHART 1997 C

Reinhart, G.: Kreatives Agieren statt optimiertes Reagieren. In: Milberg, J.; Reinhart, G.: Mit Schwung zum Aufschwung, Referate des Mühener Kolloquiums 97, München. Landsberg/Lech, mi, Ver. Moderne Industrie 1997

REINHART & HEITMANN 1997

Reinhart, G., Heitmann, K.: Integration von Simulationsmodell und PPS-Modell. Zwischenbericht des Forschungsverbundes Simulationstechnik (FORSIM) S. 225-248. Gruner Druck GmbH, Erlangen 1997

REINHART & LULAY 1998

Reinhart, G., Lulay, E.: Koordination dezentraler Produktionsstrukturen durch betriebsbegleitende Simulation; ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Nr. 1-2/98 S. 35-38. Carl Hanser, München 1998

REINHART/DECKER/HEITMANN 1997

Reinhart, G.; Decker, F.; Heitmann, K.: Möglichkeiten zur Integration der Simulation in das betriebliche Umfeld. Würzburg: Maschinenmarkt 101 (1995) 36, Seite 48-53

REINHART/LINDEMANN/HEINZL 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement – Ein Kurs für Studium und Praxis. Springer-Berlin 1996

RIEBEL 1990

Riebel, P.: Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung, 6. Wesentlich erweiterte Auflage, Wiesbaden: Gabler 1990

RÖTZEL 1991

Rötzel, A.: Rechnerunterstützte Fertigungsplanung und –steuerung. 1. Auflage Heidelberg: Hüthig, 1991, Seite 106F

RUFFING 1991

Ruffing, T.: Fertigungssteuerung bei Fertigungsinseln. 1. Auflage Köln: TÜV Rheinland, 1991

SCHLICHTHERLE 1997

Schlichtherle, O.; Kuhn, A. (Hrsg.): Aufbau eines rechnergestützten Systems zur Ermittlung von Leistungskennzahlen innerbetrieblicher automatisierter Logistiksysteme, Diss. Dortmund: Verlag Praxiswissen 1997

SCHMIDT 1987

Schmidt, G.: Grundlagen der Regelungstechnik. München: Springer 1987

SCHNEEWEIß 1997

Schneeweiß, Ch.: Einführung in die Produktionswirtschaft, 6. Neubearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin: Springer 1997

SCHOTT 1991

Schott, G.: Kennzahlen: Instrument der Unternehmensführung. 6. Auflage Wiesbaden: Forkel, 1991

SHARUZ & BEHTASH 1992

Sharuz, S.M., und Behtash, S.: Design of controllers for linear parameter-varying systems by the gain-scheduling technique. J. Math. Anal. Appl. 168 (1992), S. 195-217.

- SIEGWART 1992
Siegwart, H.: Kennzahlen für die Unternehmensführung. 4. Auflage Bern: Paul Haupt, 1992
- SILJAK 1978
Siljak, D.D.: Large-Scale Dynamic Systems, Stability and Structure. New York: North-Holland, 1978.
- SILJAK 1991
Siljak, D.D.: Decentralized Control of Complex Systems. San Diego: Academic Press, 1991.
- SIMON 1995
Simon, D.: Fertigungsregelung durch zielgrößensorientierte Planung und logistisches Störungsmanagement. Berlin: Springer, 1995. (iwb Forschungsberichte 85)
- SIMON 1997
Simon, H.; Dolan, R.J.: Profit durch Power Pricing. Campus Verlag, Frankfurt/New York, 1997
- SYSKA 1995
Syska, A.: Kennzahlen für die Logistik. 1. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschl, 1995
- STEINMANN 1992
Steinmann, H.: Einsatzmöglichkeiten von Expertensystemen in integrierten Systemen der PPS. Heidelberg: Physika, 1992. (Beiträge zur Wirtschaftsinformatik 6)
- STORP 1982
Storp, J.: Ablaufplanung und Kostenvergleichrechnungen für veränderte Arbeitsstrukturen der Massenfertigung, Wissenschaftliche Reihe, Husum: Hannemann, 1982
- VDI 3633
VDI 3633 (Entwurf einer technischen Regel): Simulation von Logistik, Materialfluß- und Produktionssystemen – Begriffsdefinition. Berlin: Beuth 1996
- VOLLMER 1996
Vollmer, E.: Ein simulationsgestütztes Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbestimmung von Fertigungsprozessen mit Stückgutcharakter, Diss. Berlin: Springer 1996
- WEBER 1995
Weber, J.: Logistik-Controlling. 4. Auflage Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1995
- WEDEMEYER 1989
Wedemayer, H.-G.: Entscheidungsunterstützung in der Fertigungssteuerung mit Hilfe der Simulation. Düsseldorf, VDI-Verlag, 1989
- WEINBRECHT 1993
Weinbrecht, J.: Verfahren zur zielorientierten Reaktion auf Planabweichungen in der Werkstattregelung. Karlsruhe: Schnelldruck Ernst Grässer, 1993. (Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe 53)
- WIENDAHL 1989
Wiendahl, H.-P.: Grundlagen und Entwicklungsstand der belastungsorientierten Fertigungssteuerung. In: Fachseminar Belastungsorientierte Fertigungssteuerung. Hrsg: H.-P. Wiendahl, Verlag gfm, Hannover 1989, Seite 219-260

WIENDAHL 1990

Wiendahl, H.-P.: Simulationsmodelle in der Produktionsplanung und –steuerung. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung (1990) 3, Seite 137-141

WIENDAHL 1993 A

Wiendahl, H.-P.; Pritschow, G.; Milberg, J.: Produktionsregelung - interdisziplinäre Zusammenarbeit führt zu neuen Ansätzen. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung (1993) 7/8, Seite 352-354

WIENDAHL 1993 B

Wiendahl, H.-P., Pritschow, G., Milberg, J.: Produktionsregelung – interdisziplinäre Zusammenarbeit führt zu neuen Ansätzen. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung (1993) 6, S. 265-268

WIENDAHL 1995

Wiendahl, H.-P.: Produktionsplanung und –steuerung im Wandel. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung (1995) 3, Seite 82-85

WIENDAHL 1996

Wiendahl, H.-P.; Menzel, W.; Möller, J.: Wandel in der Fabrikplanung durch stärkere Mitarbeiterbeteiligung, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung (1996) 2, Seite 26 – 29

WIENDAHL 1997

Wiendahl, H.-P.: Fertigungsregelung - Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells. Hrsg: H.-P. Wiendahl, Verlag Hanser, Hannover 1997

WIENEKE-T. 1987

Wieneke-Toutaoui, B.: Rechnerunterstütztes Planungssystem zur Auslegung von Fertigungsanlagen. Hanser, München, 1987.

WILDEMANN 1994

Wildemann, H.: Entstörmanagement als PPS Funktion. 1.Auflage München: Transfer-Centrum 1994

WILDEMANN 1994 A

Wildemann, H.: Produktionscontrolling: Systemorientiertes Controlling schlanker Produktionsstrukturen. 2.Auflage München: Transfer-Centrum 1994, Seite 7-9

WILDEMANN 1997

Wildemann, H.: Logistik – Prozeßmanagement, München: TCW-Verlag 1997

WÜST 1996

Kennzahlen und Kennzahlensysteme: Moderne Ansätze für eine kennzahlgestützte Unternehmensführung. Journal für Betriebswirtschaft (1996) 2, Seite 100 – 104

ZETLMAYER 1994

Zetlmayer, H.: Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung. Berlin: Springer, 1994. (iwb Forschungsberichte 74)

ZEUGTRÄGER 1998

Zeugträger, K.: Anlaufmanagement für Großanlagen. VDI- Fortschrittberichte, Reihe 2. Fertigungstechnik. Nr. 470 Düsseldorf: 1998

ZÜLCH 1989

Zülch, G.: Der strategische Steuerungsraum – Ein Ansatz zur Systematisierung von Strategien der Fertigungssteuerung. VDI-Z (1989) 5, Seite 58-65

11 Anhang

11.1 Darstellung des Kennzahlensystems für Umplanungsmaßnahmen

11.1.1 Ressourcen

Systematik	Merkmale	Einflußbereich	
I. Ressourcen	A. Einzelarbeitssystem	1. Max. mögliche Leistung Oberste Leistungsgrenze des Arbeitssystems <input type="checkbox"/> Quantitative Kapazität <input type="checkbox"/> Anteil kapazitätsmindernder Störungen <input type="checkbox"/> Leistungsgrad	Beeinflußt als theoretische Leistungsgrenze in Verbindung mit dem Ausmaß an Störungen den Abgleich zwischen Kapazitätsnachfrage und -angebot Maß für die "Verfügbarkeit" eines Systems -> welche Spielräume sind vorgesehen ?
		2. Strukturparameter <input type="checkbox"/> Gemeinsame Bestandspuffer (Eingangs- / Ausgangspuffer) <input type="checkbox"/> Überlappte Fertigung	Ausmaß der Rückwirkungen von Störungen auf nachgelagerte Systeme Möglichkeiten zur Aufrechterhaltung der Leistungsbereitschaft der Arbeitssysteme
		3. Sonst. Eigenschaften des Arbeitssystems <input type="checkbox"/> qualitative Kapazität (Maschinenflexibilität) <input type="checkbox"/> Durchschn. MTBF, MTTR <input type="checkbox"/> Durchschn. Wartungsdauer <input type="checkbox"/> Melde-Totzeiten (Zeitraum zwischen Störung und Meldung)	Handlungsspielräume für Umplanungen Festlegung des Zeitrahmens
	B. Transportsystem	1. Max. mögliche Förder- / Transportleistung Leistungsgrenze des Transportsystems <input type="checkbox"/> Förder-Kapazität <input type="checkbox"/> Anteil kapazitätsmindernder Störungen	s. o. Einzelarbeitssysteme: max. mögl. Leistung Einfluß auf die Auslastung vor- / nachgelagerter Arbeitssysteme
		2. Sonst. Eigenschaften des Arbeitssystems <input type="checkbox"/> (Qualitative) Kapazität / Flexibilität <input type="checkbox"/> Umbaumöglichkeiten <input type="checkbox"/> Erweiterungsfähigkeit <input type="checkbox"/> Umfang des transportierbaren Fördergutes <input type="checkbox"/> Durchschn. MTBF, MTTR <input type="checkbox"/> Durchschn. Wartungsdauer	Flexibilität bei Umplanungen Maß für den Aufwand (zeitl. / techn.) für die Umgehung ausgefallener Einheiten Festlegung des Zeitrahmens
	C. Personal	1. Qualifikation / Einsatz-Flexibilität	Umplanungsspielraum
		2. Arbeitssicherheit / Unfallhäufigkeit	
		3. Zuverlässigkeit <input type="checkbox"/> Abwesenheitsquote <input type="checkbox"/> Überstundenbereitschaft	Kapazitätsmindernde Störungen
	D. Material	1. Verfügbarkeit Anteil der Störungen, die auf fehlendes Material zurückgehen	
		2. Qualität Anteil der Störungen, die auf fehlerhaftes / falsches Material zurückgehen	

11.1.2 Fertigungsstruktur

Systematik	Merkmale	Einflußbereich
<p style="text-align: center;">II.</p> <p style="text-align: center;">Fertigungs- struktur</p>	<p>A. Kapazitäts-einheiten</p> <p>1. Gesamtanzahl Arbeitsplätze gegliedert nach Maschinentypen</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Drehen <input type="checkbox"/> Fräsen <input type="checkbox"/> Sägen <input type="checkbox"/> ... 	<p>Maß für das Kapazitätsangebot -> max. zu bewältigende Auftragsgröße</p> <p>Gesamtkapazität</p>
	<p>B. Lager</p> <p>1. Anzahl der Ein- / Ausgangspuffer</p>	<p>Einflußstärke von Störungen</p>
	<p>2. Größe der Ein- / Ausgangspuffer</p>	<p>s. o.; beeinflusst III D 2</p>
	<p>3. Sonst. Lagereigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Kapazität <input type="checkbox"/> Durchsch. Bereitstellungszeit <input type="checkbox"/> Vorratsintensität 	<p>Maß für die Möglichkeit, gewollte Änderungen "rückwirkungsfrei" durch Ersatz einer Maschine durch Lagerbestände durchzuführen</p>
	<p>C. Organisationsform</p> <p>1. Fertigung Ablaufstruktur im Bereich Fertigung</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Werkstatt (++) <input type="checkbox"/> Gruppenfertigung (+) <input type="checkbox"/> Fließfertigung (-) <input type="checkbox"/> Flexible Fertigungssysteme (++) 	<p>Werkstatt -> sehr hoher Abstimmungs- / Koordinierungsbedarf, Problem der Komplexitätsbeherrschung -> Ansätze zur Dezentralisierung der Steuerung (Leitstände, etc.)</p> <p>Fließfertigung -> Gesamtverfügbarkeit ergibt sich aus der multiplikativen Verknüpfung der Einzelsysteme, Ausfälle führen meist zu Stillständen -> präventive (Störfrequenzminderung) und reaktive (Entstörleitstände) Maßnahmen</p> <p>Gruppenfertigung -> Kombination Werkstatt- / Fließprinzip -> für Werkstattbereiche Dezentralisierung der Entscheidung über reaktive Maßnahmen, für Fließbereiche präventive Maßnahmen</p> <p>Grad der Flexibilität / Freiheitsgrade im Falle einer Umplanung</p>
<p>2. Montage Ablaufstruktur im Bereich Montage</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Baustellenmontage <input type="checkbox"/> Gruppenmontage <input type="checkbox"/> Reihenmontage <input type="checkbox"/> Fließmontage 	<p>s. o.</p>	
<p>3. Veranlassungslogik / Steuerungskonzept</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> MRP II <input type="checkbox"/> BoA <input type="checkbox"/> FZK <input type="checkbox"/> Kanban 	<p>Einfluß auf die Stell-Parameter</p> <p>spezifische Maßnahmen zur Störungsbehebung je nach Konzept -> Freiheitsgrade</p>	
<p>4. Technologische Folge Art des Auftragsdurchlaufes</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> streng richtungsorientiert <input type="checkbox"/> richtungsvariabler Durchlauf möglich 	<p>Flexibilitätsgrad</p>	
<p>5. Schnittstellenhäufigkeit Anzahl der Übergänge im Bearbeitungs- / Materialfluß</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> hohe funkt. Spezialisierung <input type="checkbox"/> Integration v. Einzeltätigkeiten 	<p>Möglichkeiten zur Synchronisation von Kapazitäten</p> <p>Einfluß auf Liege- / Transport- / Prüfzeiten</p> <p>Geschwindigkeit der Informationsweitergabe / Reaktionsdauer / Entscheidungsfindung</p>	

11.1.3 Aufträge

Systematik	Merkmale	Einflußbereich
III. Aufträge	A. Mindest - Bestände	
	1. Mittelwerte / Streuung der Auftragszeiten <input type="checkbox"/> Losgröße / Stückzahl <input type="checkbox"/> Rüstzeit <input type="checkbox"/> Bearbeitungszeit je Einheit	Einfluß auf dynamisch auftretende Kapazitätsgengpässe, führen bei geringen Beständen zu Materialflußabbrissen -> Leistungseinbußen; Streuung bewirkt zusätzlich, daß neu zur Bearbeitung ankommende Lose länger warten müssen (um so länger, je größer der in Bearbeitung stehende Auftrag ist) -> bestands- und durchlaufzeiterhöhend
	2. Mindestübergangszeiten <input type="checkbox"/> Transportzeit <input type="checkbox"/> Sonstige Mindestzeiten	
	B. Produkte	
	1. Produktstruktur <input type="checkbox"/> einteilig <input type="checkbox"/> mehrteilig	beeinflusst mögliche Ursachen für Störungen: Einteilig -> Störungen Arbeitssysteme Mehrtteilig -> Fehler bei der Stücklistenauflösung
	2. Produktionstiefe <input type="checkbox"/> einstufig <input type="checkbox"/> mehrstufig	Rückwirkungen einer Störung auf das PPS-System -> Konsistenz der Auftragsnetze
	3. Produkttypisierungsgrad <input type="checkbox"/> kundenindividuelle Produkte <input type="checkbox"/> Standardprodukte	beeinflusst mögliche Ursachen für Störungen: kundenindividuell -> unvollständige / falsche Auftragsdaten durch Kunden; nachträgliche Änderungs wünsche; unzureichende Abstimmung betriebl. Teilbereiche -> reaktive Maßnahmen Standard -> modularisierte Grundkomponenten -> präventive Maßnahmen Einfluß auf die Möglichkeit, Leistungen im Zuge von Störungen / Umplanungen zuzukaufen
	4. Verfahrensflexibilität <input type="checkbox"/> Methodenänderung <input type="checkbox"/> Reihenfolgeänderung	Ausweichmöglichkeiten auf Arbeitssysteme anderen Typs -> Änderung des Bearbeitungsverfahrens
	C. Auftragsmerkmale	
	1. Auslösungsart <input type="checkbox"/> Kundenaufträge (++) <input type="checkbox"/> Rahmenverträge (+) <input type="checkbox"/> Lageraufträge (-)	Kundenaufträge -> mangelnde Prognosesicherheit -> reaktive Maßnahmen Rahmenverträge / Lageraufträge -> planbare (Grund-) Auslastung, repetitive Abläufe -> präventive Maßnahmen Verfügbarer Zeitraum für Korrektur- / Umplanungsmaßnahmen -> zeitkritisch (+) / nicht zeitkritisch (-)
	2. Auftragsgröße <input type="checkbox"/> Einzel- / Kleinserienfertigung <input type="checkbox"/> Großserienfertigung <input type="checkbox"/> Massenfertigung	Einzelfertigung -> kaum Standardisierung von Fertigungsabläufen möglich -> reaktive Maßnahmen Großserien- / Massenfertigung -> hohe Wiederholhäufigkeit große Standardisierungspotentiale -> präventive Maßnahmen Rückwirkungen auf geeignete Steuerungsstrategien (Veranlassungslogiken) -> Freiheitsgrade
	D. Disposition	
1. Beschaffungsart <input type="checkbox"/> Fremdbezug / Eigenfertigung <input type="checkbox"/> Generelle Möglichkeiten zum Fremdbezug	Einfluß auf die Abgrenzung kritische / nicht kritische Störung	
2. Bevorratung <input type="checkbox"/> Vorratsreichweite <input type="checkbox"/> Durchschn. Lagerbestand <input type="checkbox"/> Bestände ohne Bewegung	Maß für verfügbare Reaktionszeit bei Ausfällen	
3. Instandhaltung		
E. Belastung		
1. Tatsächlich belastete Kapazitätseinheiten	Maß für den Umplanungsspielraum: Können Arbeitsgänge einfach auf nicht vollständig ausgelastete Arbeitssysteme umgelenkt werden ?	
2. Reservekapazitäten	s. o.	

11.2 Interdependenzen von Änderungen auf das Kennzahlensystem

11.2.1 Gewollte Änderungen

Gewollte Änderungen ...		beeinflussen die Merkmale des KZS
Produktionsstruktur	<input type="checkbox"/> Organisationstyp der Fertigung / Montage <input type="checkbox"/> Änderung der Arbeitsmittel (Maschinen, Werkzeuge, ...) <input type="checkbox"/> Integration neuer Arbeitsmittel (schneller, spezieller, FFS, ...) <input type="checkbox"/> Stilllegung alter Arbeitsmittel <input type="checkbox"/> Layoutänderungen <input type="checkbox"/> Änderung der Qualifikation des Personals <input type="checkbox"/> Verwendung neuer Materialien	<input type="checkbox"/> II C 1 + 2 <input type="checkbox"/> I A; II A <input type="checkbox"/> .. <input type="checkbox"/> .. <input type="checkbox"/> II C <input type="checkbox"/> I C <input type="checkbox"/> I D
Produktionsprogramm	<input type="checkbox"/> Einstellung der Produktion alter Produkte <input type="checkbox"/> Aufnahme neuer Produkte in das Programm <input type="checkbox"/> Bildung neuer Produktvarianten	<input type="checkbox"/> III B
Technologie	<input type="checkbox"/> Einführung neuer Fertigungstechnologien <input type="checkbox"/> Änderung der Prozeßtechnologie	<input type="checkbox"/> III B 4 <input type="checkbox"/> I C 1 +2; II C; III E
Steuerungsstrategie	<input type="checkbox"/> Veranlassungslogik <input type="checkbox"/> Beschaffungsstrategie <input type="checkbox"/> Instandhaltungsstrategie <input type="checkbox"/> Distributionsstrategie	<input type="checkbox"/> III E <input type="checkbox"/> III D
Zielgewichtung	<input type="checkbox"/> Änderung der Bedeutung / Einflußstärke eines logistischen Zielkriteriums innerhalb der Zielfunktion	<input type="checkbox"/> Performance KZS

11.2.2 Ungewollte Änderungen- Störungen

Ungewollte Änderungen - Störungen		beeinflussen die Merkmale des KZS
Organisatorische Fehler	<input type="checkbox"/> Prognosefehler <input type="checkbox"/> Dispositionsfehler <input type="checkbox"/> Fehler in Planungsunterlagen Arbeitspläne, Stücklisten, Konstruktionszeichnungen	<input type="checkbox"/> II A + B <input type="checkbox"/> I A 1 Leistungsgrad <input type="checkbox"/> I D <input type="checkbox"/> II C 5 <input type="checkbox"/> III A <input type="checkbox"/> III E
Technische Störungen	<input type="checkbox"/> Arbeitssysteme Ausfälle, Verhalten in Anlaufphase <input type="checkbox"/> Transportsystem Ausfälle <input type="checkbox"/> Bedienpersonal Abwesenheit, mangelnde Qualifikation / Anlernphase, Unfall <input type="checkbox"/> Material Ausschuß <input type="checkbox"/> Meldeeinrichtungen Ausfall automatischer Aufnehmer	<input type="checkbox"/> II A -> III A + E -> Performance KZS <input type="checkbox"/> I A + B + C
Logistische Störungen	<input type="checkbox"/> Material Fehlteile, falsche Teile <input type="checkbox"/> Lieferverzug eines Lieferanten <input type="checkbox"/> Fehler Kontrolle / Datenaufnahme Versäumnis manueller Aufnahme	<input type="checkbox"/> I D <input type="checkbox"/> Performance KZS

11.2.3 Darstellung eines Maßnahmenkataloges

	Verweise		Klassifikation		Beschreibung							
	Verweise		Klassifikation		Beschreibung							
	Verweise		Klassifikation		Beschreibung							
	Verweise		Klassifikation		Beschreibung							
	Verweise		Klassifikation		Beschreibung							
	Komponente(n)	Attribut	Standardmaßnahme	Relevanz	textuelle Beschreibung	Migrationszeit	beeinflusste Attribute	beeinflusste Komponenten	Kostenaufwand			
Lagersystem Montagesystem Transportsystem Qualitätssicherungssystem Bearbeitungssystem	Einzelbearbeitung	gemeinsame	Aufstellungsort	Einsetzort ändern/ Komponente austauschen	Transportsystem	-Komponente ausbauen -Attribute neu definieren -Peripherie anpassen -Komponente einsetzen	Erfahrungsweite	-Vorg./Nachf./Materialfluß/Kapazität	Bearbeitungsmaschinen der Fertigungskette	Erfahrungswerte		
			bearbeitete Bauteile	Produktpalette ändern	Transportsys. -Lager- Handl.-sys.	-Bearbeitungszeiten festlegen -Materialfluß anpassen		-Vorg./Nachf./Materialfluß/Belegung	Verteilung der Bearbeitungsaufgaben			
			Fertigungszeiten	Bearbeitungs- velozität variieren	-Transportsystem -Lager	-Bearbeitungszeiten festlegen -Materialfluß anpassen		-Vorg./Nachf./Materialfluß/Kapazität	Bearbeitungsmaschinen der Fertigungskette			
			Kapazität	betrifft Aufrüsten oder Austausch der Komponente								
			Belegung	Belegung erhöhen/ senken	-Transportsystem	-Materialfluß erhöhen/ senken (Kapazität) -Umgebung anpassen		-Vorg./Nachf./Materialfluß	Bearbeitungsmaschinen der Fertigungskette			
			MTTR, MTBF, Ausbauteil	Umplanungskriterien								
	Bearbeitungszentrum	interne Attribute	spezifische	Aufrüstbarkeit	Aufrüsten	-Transportsystem -Lager	-Aufrüsten -Arbeitsreihenfolge umplanen	-Vorg./Nachf./Materialfluß	Bearbeitungsmaschinen der Fertigungskette			
	Einzelbearbeitung			Bearbeitungsart	Komponente austauschen	Transportsys. Handl.-sys.	-Bearbeitungsart ändern -Neue Bearbeitungsreihenfolge festlegen	-Vorg./Nachf./Materialfluß	Bearbeitungsmaschinen der Fertigungskette			
	Einzelbearbeitung Bearbeitungszentrum	externe Attribute	gemeinsame	Vorgänger	Komponente auf Vorgänger oder Nachfolger abstimmen	-Transportsystem -Lager	-Bearbeitungsart für Fertigungsprozess optimieren -Belegung und Bearbeitungszeiten anpassen -gegebenfalls Puffer vorsehen	-Belegung -Bearbeitungsart -Fertigungszeiten	Bearbeitungsmaschine im Umfeld des Umplanungsraumes			
				Nachfolger								
				Materialfluß	Materialfluß erhöhen/ senken	-Lager	-Belegung erhöhen Isolieren bzw. Puffer einsetzen/entfernen	-Belegung	betroffene Bearbeitungsmaschinen			

iwb Forschungsberichte Band 1–121

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

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

- 1 *Streifinger, E.*
Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*
Untersuchung der spanenden Arbeit von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*
Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*
Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*
Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*
Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, I.*
Schneiderodierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*
Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*
Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*
Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*
Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*
Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Groha, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*
Klippsmontage mit Industrierobotern
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*
Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Sauerer, Ch.*
Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*
Positionsbestimmung von Objekten in der Montage und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*
Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*
Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Wirba, P.*
Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelschäuser, P.*
Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*
Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*
Prozeßkommunikation und Rechnerverbund in der Produktion
1990 · 52 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfrang, W.*
Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*
Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*
Systematische Planung komplexer Produktionssysteme
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Hartberger, H.*
Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuczek, H.*
Inspektion von Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*
Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*
3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8
- 36 *Naber, H.*
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*
Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*
Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*
Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55200-0
- 44 *Petry, M.*
Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmabaukastens für robotergeführte Klebprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*
Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*
Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*
Prozessuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schröder, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*
Methoden zur rationalen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glaas, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helml, H.J.*
Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*
Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bomm, H.*
Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*
Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*
Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*
Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringeinrichtungen
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*
Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer Zellenrechnersoftware
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56890-5
- 62 *Stetter, R.*
Rechnergestützte Simulationwerkzeuge zur Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
Simulation des Schwingungsverhaltens spanender Werkzeugmaschinen
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-Layoutoptimierung
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummetsteiner, G.*
3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*
Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen Automatisierung von Produktionssystemen
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*
Automatische Inbetriebnahme geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schäpfl, M.*
Rechnergestütztes Projektinformations- und Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*
Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung in der Einzel- und Kleinserienproduktion
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*
Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer flexiblen Fertigung
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Raith, P.*
Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in der Arbeitsvorbereitung
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*
Strömungstechnische Optimierung von Produktionssystemen durch Simulation
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zäh, M. F.*
Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanzer, N.*
Technologisches Prozeßmodell für die Kugelschleifbearbeitung
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanow, P.*
Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*
Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungszellen
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*
Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der Hartbearbeitung
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in flexiblen Produktionszellen
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung und logistisches Störungsmanagement
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*
Systematische Planung anwendungsspezifischer Materialflußsteuerungen
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rockland, M.*
Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in Montageanlagen
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Limmer, St.*
Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*
Integrierte Planung von Informationssystemen für rechnergestützte Produktionssysteme
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deuschle, U.*
Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in mittelständischen Unternehmen
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*
Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*
Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte
1995 · 73 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*
Dynamischgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen · Gestellstrukturen
1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*
Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*
Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*
Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*
Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme
1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*
Autonome Fertigungszellen · Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*
Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie
1996 · 99 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*
Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*
Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten
1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Köhler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinproduktionen
1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung
1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*
Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*
Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen
1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Krönert, U.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung
1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozeß mit Produktmodellen
1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung · ein modularer, modellbasierter Ansatz
1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindnermaier, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehrer, J.*
Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfaden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Plab, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgel leitete Planung von Laseranlagen
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Seminarberichte iwb

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

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-00, utz@utzverlag.com

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten · ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-07-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-08-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-09-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**
166 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
138 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobauteilen**
126 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**
ISBN 3-89675-046-1
- 47 **Virtuelle Produktion - Prozeß- und Produktsimulation**
ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**
ISBN 3-89675-048-8

Forschungsberichte iwb

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

Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-00, utz@utzverlag.com

- 122 Burghard Schneider
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Bernd Goldstein
Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
170 Seiten · 65 Abb. · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Helmut E. Mößner
Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
156 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Ralf-Gunter Gräser
Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Hans-Jürgen Trossin
Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Doris Kugelmann
Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
158 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Rolf Diesch
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
160 Seiten · 69 Abb. · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Werner E. Lulay
Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
170 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Otto Murr
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Michael Macht
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · ISBN 3-89675-638-9