

Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften
„Friedrich List“

Diskussionsbeiträge aus dem
Institut für Wirtschaft und Verkehr

Nr. 4/2000

Jan R. Westphal

Komplexitätsmanagement in der Produktionslogistik

Dresden, August 2000

Herausgeber:
Die Professoren des
Instituts für Wirtschaft und Verkehr

ISSN 1433-626X

Internet: <http://www.tu-dresden.de/vkiwv/VWL/home.htm>

Komplexitätsmanagement in der Produktionslogistik

Diplom-Wirtschaftsingenieur

Jan R. Westphal

**Technische Universität Dresden
Fakultät für Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Institut für Wirtschaft und Verkehr
Lehrstuhl für Verkehrsbetriebslehre und Logistik
01062 Dresden**

August 2000

Dieses Diskussionspapier basiert auf der Dissertation „Komplexitätsmanagement in der Produktionslogistik - Ein Ansatz zur flußorientierten Gestaltung und Lenkung heterogener Produktionsstrukturen“, die im Juli 2000 an der Fakultät für Verkehrswissenschaften der TU Dresden eingereicht wurde. Die Betreuung der Dissertation erfolgte durch Prof. Dr. Sebastian Kummer, dessen wissenschaftlicher Mitarbeiter der Autor ist.

- Zusammenfassung -

Der Wandel der Absatzmärkte von Verkäufer- zu Käufermärkten geht mit einer zunehmenden Dynamik der relevanten Umweltfaktoren einher. Da die Erzeugnisse technisch immer ähnlicher werden, konkurrieren zukünftig am Markt nicht mehr Produkte, sondern mehr oder weniger effektive und effiziente Organisations- und Lenkungsstrukturen. Insbesondere Unternehmen, die komplexe Erzeugnisse nach Kundenspezifikation in Einzel- oder Kleinserienfertigung herstellen, bewegen sich in einem Spannungsfeld zwischen der erforderlichen Kundennähe im Leistungsprogramm, der Komplexität des Produktionsprozesses und dessen Effizienz. Ein Ansatzpunkt zur Lösung dieses Zielkonfliktes liegt im Management der Komplexität in heterogenen Produktionssystemen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

II

Kapitel 1 Einführung in die Problemstellung

1.1	Komplexitätsmanagement als Gestaltungsaufgabe	1
1.2	Grenzen der zentralen Produktionslenkung	2
1.3	Anforderungen an einen neuen Gestaltungsansatz	3
1.4	Theoretische Grundlagen eines systemorientierten Gestaltungsansatzes	5
1.5	Zielsetzung des Gestaltungs- und Lenkungsansatzes	8

Kapitel 2 Grundlagen

2.1	<i>Philosophie und Aufbau traditioneller PPS-Systeme</i>	9
2.1.1	Problembereich Komplexitätsverständnis	10
2.1.2	Fehlende Integration der Sach- und der Formalzielebene	11
2.1.3	Problembereich Berücksichtigung der Organisationsstruktur	12
2.1.4	Defizite traditioneller PPS-Systeme aus der Perspektive der Logistik	13
2.1.5	Das offene Entscheidungsfeld	13
2.1.6	Problem Strukturgleichheit der Abbildung der Systeme im Modell	14
2.2	<i>Kybernetische Grundlagen</i>	15
2.2.1	Systembetrachtung des Leistungssystems	15
2.2.2	Die Black-Box-Methode als Gestaltungsansatz	16
2.2.3	Traditionelle und systemische Denkansätze	17
	Die zielgerichtete Beeinflussung des Systemverhaltens unter Anwendung kybernetischer Prinzipien	18
2.2.5	Begriff, Ursachen und Symptome der Komplexität	19
2.2.6	Das Gesetz der erforderlichen Varietät	21
2.2.7	Die Schaffung von Ordnung als Ziel des Varietätsengineering	23
2.3	<i>Der Paradigmenwechsel in der Produktionslogistik</i>	24
2.4	<i>Anforderungen an ein Entscheidungsunterstützungssystem</i>	26
2.4.1	Die Datenkomponente	26

Kapitel 3 Handhabung der Materialfluß- und der Lenkungscomplexität

3.1	<i>Einflußfaktoren auf die Komplexität des Produktionsprozesses</i>	28
3.2	<i>Die Handhabung der Materialflußkomplexität</i>	31
3.2.1	Reduzierung der Materialflußkomplexität durch Modularisierung	31
3.2.2	Eigenschaften der Produktionsbereiche	33
3.2.3	Die Deckung des Varietätsbedarfs	33
3.2.4	Das Produktionssystem als multistabiles System	34
3.3	<i>Handhabung der Lenkungscomplexität</i>	35
3.3.1	Differenzierung durch Hierarchisierung	36

3.3.2	Das Mehrebenenmodell von Mesarovic, Tacko und Takahara	36
3.3.3	Die Rekursivitätsbeziehung zwischen den Lenkungsebenen	42
3.3.4	Unabhängigkeit	42
3.3.5	Die horizontale Selbstabstimmung der Bereiche	43
3.3.6	Rollierende Planung	43
3.3.7	Die Planung des Fließgleichgewichtes als zentrale Aufgabe der Logistik	44
3.4	<i>Entwicklung eines diskreten Simulationsinstrumentes</i>	45
3.5	<i>Zusammenfassung der Methoden zur Handhabung der Komplexität</i>	48
3.6	<i>Die Aufgaben des Logistik-Controlling</i>	48
	<i>Literatur</i>	51

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 1 Einführung in die Problemstellung

Abb. 1:	Spannungsfeld zwischen Kundennähe, Komplexität und Effizienz	2
Abb. 2:	Die Komplexitätsfalle	3
Abb. 3:	Integrationsdefizit in der Produktionslogistik	4
Abb. 4:	Handlungsbedarf	6
Abb. 5:	Theoretische Grundlagen der Gestaltung	7
Abb. 6:	Paradigmenwechsel in der Produktionswirtschaft	8

Kapitel 2 Problemstellung und theoretische Grundlagen

Abb. 7:	Strukturgleichheit der drei Systeme	14
Abb. 8:	Struktur eines als Black-Box modellierten Systems	16
Abb. 9:	Gegenüberstellung des analytischen und systemischen Denkansatzes	17
Abb. 10:	Die Komponenten der Komplexität	20
Abb. 11:	Erhöhung der Ordnung durch Differenzierung und Integration	23
Abb. 12:	Relevante Planungsdaten auf den Lenkungsebenen	27

Kapitel 3 Handhabung der Komplexität in der Produktionslogistik

Abb. 13:	Schritte zur Handhabung der Komplexität	28
Abb. 14:	Horizontale und vertikale Differenzierung und Integration	29
Abb. 15:	Die Systemsichten	30
Abb. 16:	Reduzierung der Materialflußkomplexität durch Modularisierung	32
Abb. 17:	Datenflußplan des entwickelten Gestaltungsansatzes	38
Abb. 18:	Legende zum Datenflußplan aus Abbildung 17	39
Abb. 19:	Regelungsaufgaben der Lenkungsebenen	41
Abb. 20:	Unterstützung des Reglers durch ein Modell der Regelstrecke	46
Abb. 21:	Zusammenfassung der Maßnahmen zur Handhabung der Komplexität	49
Abb. 22:	Abgrenzung der Aufgaben des Logistikmanagements und des Controlling	50

1 Einführung in die Problemstellung

1.1 Komplexitätsmanagement als Gestaltungsaufgabe

Den Ausgangspunkt für die nachfolgenden Ausführungen bildeten der strukturelle Wandel der Absatzmärkte von Verkäufer- zu Käufermärkten und die Diskussion der konzeptionellen Defizite traditioneller Ansätze der Produktionsplanung und -steuerung.

Die Veränderung der betrieblichen Rahmenbedingungen kann durch die Stichworte Globalisierung, Innovationsdynamik und Nachfragedifferenzierung beschrieben werden. Zeichneten sich Verkäufermärkte durch stabile Rahmenbedingungen und weitgehend homogene Kundenwünsche aus, so führt die Dynamik der Absatzmärkte zu tiefgreifenden Veränderungen des Produktionsprozesses und stellt neue Anforderungen an dessen Lenkung.

Die zunehmende Dynamik des Wettbewerbs erfordert eine Differenzierung vom Wettbewerber über eine kundenspezifische Individualisierung der Erzeugnisse. Diese Kundenorientierung im Leistungsprogramm führt zu einer großen Sortimentsbreite und zu immer komplexeren Produktstrukturen. An die Stelle linearer Fertigungsabläufe treten vernetzte, inhomogene Prozeßstrukturen mit einer hohen Anzahl von Schnittstellen. Sie verstärkt damit den wichtigsten kostentreibenden Faktor in produzierenden Unternehmen: die unternehmensinterne Komplexität im Produktionssystem und der Lenkung des Produktionsprozesses.

Insbesondere Unternehmen, die komplexe Erzeugnisse nach Kundenspezifikation in Einzel- oder Kleinserienfertigung fertigen, bewegen sich in einem Spannungsfeld zwischen der erforderlichen Kundennähe im Leistungsprogramm, der Komplexität des Produktionsprozesses und dessen Effizienz.¹

Bleiben die Organisation des Produktionssystems und die Methode einer ausschließlich zentralen Lenkung des Produktionsprozesses unverändert, so steigen die Anforderungen an die Koordinationsintensität und -präzision.²

Ausgehend von den traditionellen Organisationsstrukturen, die unter den Voraussetzungen relativ stabiler Umweltbedingungen entwickelt wurden, führt die wachsende Komplexität des Produktionsprozesses³ zu einem überproportionalen Anstieg der Koordinationskosten und

¹ Vgl. Kummer, S. 1997, S. 147; Boutellier, R u.a. 1997, S. 41 ff.; Wildemann, H. 1995, S. 21; Köster, O. 1998, S. 20 ff.. Gairola sieht in der Komplexitätserhöhung der Produkte, der Komplexität der Prozesse und der Komplexität der Organisation eine sich selbst verstärkende Komplexitätsspirale. Vgl. Gairola, A. 1996, S. 468; Reiß sieht in der Komplexität eine allgegenwärtige Begleiterscheinung wirtschaftlichen Handelns. Vgl. Reiß, M 1993, S. 54

² Vgl. Kummer, S. 1992, S. 26; Weber, J./Kummer, S. 1994, S. 24; Weber, J. 1993b, S. 27

³ Die differenzierteren Kundenwünsche führen zu zunehmender Produktions- und Organisationskomplexität. Deren Ursachen der Komplexität sind eine Folge der Abkehr vom Grundsatz „Keep it simple“. Vgl. Roever, M. 1991, S. 220

damit zu steigenden Stückkosten des dispositiven Faktors.⁴ Diese zusätzlichen komplexitätsbedingten Kosten verringern die Effizienz des Produktionsprozesses. (Abbildung 1)

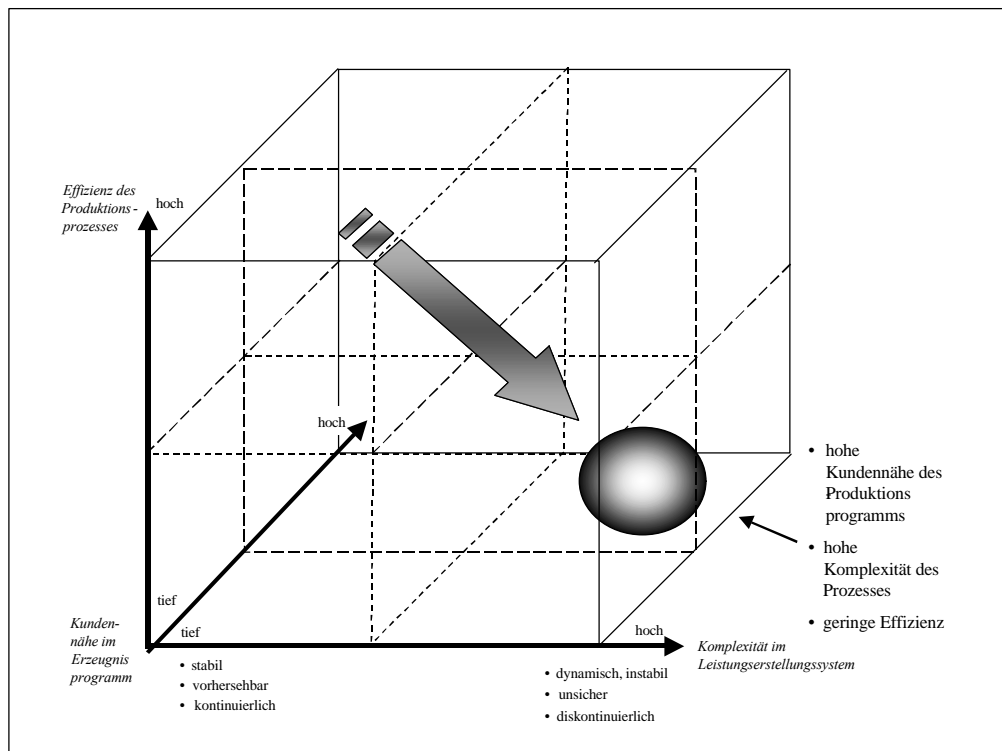


Abbildung 1: Spannungsfeld zwischen Kundennähe, Komplexität und Effizienz

1.2 Grenzen der zentralen Produktionslenkung

Die Philosophie traditioneller PPS-Systeme kann nicht unabhängig von den traditionellen, tayloristisch geprägten Gestaltungsprinzipien einer starken funktionalen Spezialisierung, einer vollständigen Trennung von planenden und ausführenden Tätigkeiten sowie einer Zentralisierung der Entscheidungskompetenzen gesehen werden. Eine Folge dieser Organisationsicht waren tayloristisch geprägte Systeme zur Planung und Steuerung der Produktion, die auf die Optimierung einzelner Prozesse ausgerichtet waren.⁵ Die logistischen Abhängigkeiten dieser Prozessschritte wurden dagegen nur unzureichend abgebildet. Ein weiteres Problem dieser Systeme stellt die einheitliche Planungslogik, die keine differenzierte Berücksichtigung der Anforderungen unterschiedlicher Fertigungsstrukturen zulässt, dar.⁶

Die Erwartungen, die man in den Einsatz traditioneller PPS-Systeme gesetzt hatte, nämlich kurze Durchlaufzeiten, niedrige Bestände und eine hohe Termintreue, haben sich in der Praxis nicht erfüllt. Die zur zentralen Produktionsplanung und –steuerung eingesetzten PPS-Systeme erzeugen zunehmend Eigenkomplexität, so daß eine zentrale Koordination des Produktionsprozesses mit wachsender Kundennähe im Produktionsprogramm unmöglich wird.

⁴ Vgl. Wildemann, H. 1995, S. 22. Den Umsatzwachstumspotentialen stehen steigende Kosten für Planung und Steuerung gegenüber.

⁵ Vgl. Köster, O. S. 111

⁶ Vgl. Drexl, A. u.a., 1994; Eidenmüller, B. 1991, S. 131

Das klassische, auf eine vertikale und horizontale Fragmentierung der Prozesse ausgerichtete, Produktionsmanagement gerät zunehmend an den Rand seiner Integrations- und Koordinationsfähigkeit. Die Ursachen hierfür sind, daß der Produktionsprozeß durch seine Heterogenität und Vernetzung hochkomplex ist und daß die Verringerung der Komplexität in den PPS-Systemen einer an die Dynamik der Unternehmensumwelt angepaßten Handhabung der Koordinationskomplexität nicht entspricht.

Werden die auf- und ablauforganisatorischen Strukturen nicht an die Anforderungen, die sich aus der angestrebten hohen Kundennähe im Leistungsprogramm ergeben, angepaßt, so führt dieses zu einer Zunahme der Koordinationskosten und damit verbunden zu einer geringeren Effizienz des Prozesses oder zu einer Verschlechterung der Kundenorientierung. Diese Zusammenhänge sind in der *Abbildung 2* in einem Wirkungsnetzwerk veranschaulicht.

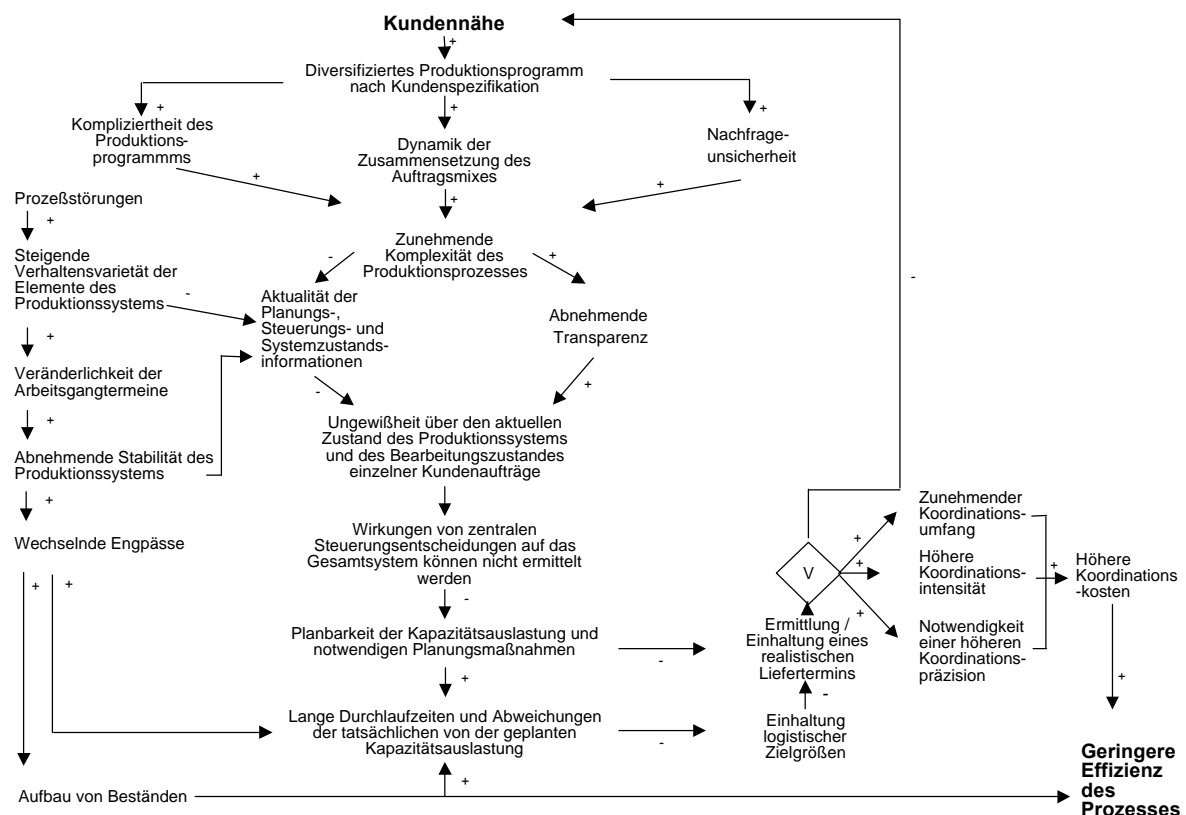


Abbildung 2: Die Komplexitätsfalle

1.3 Anforderungen an einen neuen Gestaltungsansatz

Ungeachtet der geänderten Rahmenbedingungen und neuer Organisationskonzepte auf der Materialflüßebene erfolgte bisher keine konsequente Abkehr von den traditionellen Konzepten der Produktionsplanung und -steuerung.

Da die Erzeugnisse technisch immer ähnlicher werden, konkurrieren auf den Absatzmärkten zukünftig mehr oder weniger effektive und effiziente Organisations- und Lenkungsstrukturen. Die Gestaltung des am Markt angebotenen Erzeugnisspektrums legt dabei die Grundlage für die Gestaltung der internen Prozesse. Die Herausforderung für das Unternehmen besteht dar-

in, das richtige Maß an Produktkomplexität am Markt zu plazieren, um den Kundennutzen mit einer handhabbaren unternehmensinternen Komplexität zu realisieren.

Ein weiterer Ansatzpunkt für die Verbesserung der Produktionslogistik besteht in der Gestaltung der Organisationsstrukturen des Materialfluß- und des Lenkungssystems. Die Fähigkeit, Kundenbedürfnisse schneller und besser als die Wettbewerber befriedigen zu können, hängt davon ab, ob ein Gleichgewicht zwischen der internen Varietät des Produktionssystems und der externen Komplexität geschaffen wird.

Die grundlegende Frage, die mit der Organisation des Produktionsprozesses verbunden ist, ist somit die, wie eine hohe Kundennähe im Leistungsprogramm, eine geringe Komplexität und eine hohe Effizienz der Prozesse zeitgleich realisiert werden können. Die Herausforderung für die Produktionslogistik liegt in der Bewältigung der Varietätsasymmetrie zwischen der dynamischen Umwelt des Unternehmens und dem Produktionssystem. Anstatt immer komplexere und aufwendigere PPS-Systeme zu entwickeln, die das für die Planung relevante Betriebsgeschehen möglichst genau abbilden sollen, gilt es, die Organisations- und Lenkungsstrukturen an die geänderten Anforderungen anzupassen.⁷

Der hierfür notwendigen Integration von Organisationsstruktur, Produktionsprozeß sowie Planungs- und Informationssystemen wurde bisher in der Produktionslogistik zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Für die Gestaltung flußorientierter Organisationsstrukturen und die Koordination des Produktionsprozesses in heterogenen Produktionsstrukturen waren bisher keine geeigneten Lösungsansätze verfügbar. (Abbildung 3)

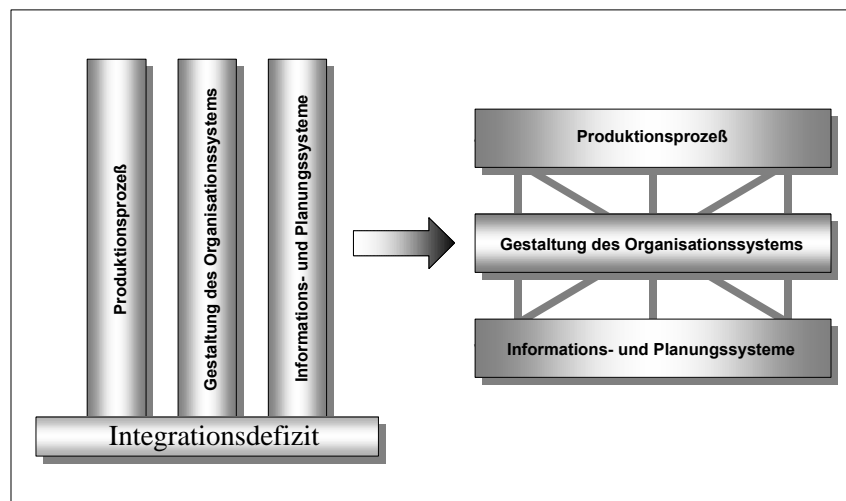


Abbildung 3: Integrationsdefizit in der Produktionslogistik

Aspekte des späteren Schnittstellenmanagements müssen ein integraler Bestandteil bei der Gestaltung des Erzeugnisprogramms und der Organisationsstruktur sein. Es gilt, die Ablauforganisation zu vereinfachen während sich die Aufbauorganisation aus der Notwendigkeit der Koordination an den Schnittstellen zwischen den Fertigungsstufen ableitet.

⁷ Nach der Auffassung von Wildemann gilt es den Glauben, mit einer noch genaueren und detaillierteren Planung die Probleme zu lösen, zu überwinden. Vgl. Wildemann, H. 1998a, S. 242

Das Komplexitätsmanagement wird zu einer Querschnittsfunktion.⁸ Dabei ist stets zu berücksichtigen, daß komplexe Probleme in der Regel nicht gelöst, sondern nur gehandhabt werden können.

Die Anforderungen an ein kybernetisches Informationssystem sind die Prozeßabbildung, Prozeßkontrolle und die Stellgrößenermittlung auf allen Ebenen der Lenkungshierarchie. Für ein neues Instrumentarium zur Lenkung des Produktionsprozesses können die folgenden Anforderungen abgeleitet werden:

- Unterstützung der mittelfristigen Produktionsprogrammplanung;
- Abbildung des Materialflusses durch das Produktionssystem mit dem Ziel, die gezielte Planung der Effektivität und der Effizienz des Prozesses zu unterstützen;
- Integration heterogener, teilautonomer Produktionsstrukturen, wobei in jedem der durch Modularisierung entstandenen Produktionsbereiche ein auf die spezifischen Anforderungen abgestimmtes Planungs- und Steuerungssystem eingesetzt werden kann;⁹
- Unterstützung parallel inhomogener Produktionsstrukturen mit einer kundenanonymen Vorfertigung und einer kundenauftragsbezogenen Montage.

Die Komplexität der Produktionslenkung erfordert dabei die Konzentration auf das Wesentliche. Die Planungsphilosophie kann mit: „*Durchgängigkeit und Schnelligkeit der Planung sind wichtiger als Genauigkeit im Detail*“ beschrieben werden.

Der sich aus den vorangehenden Betrachtungen ergebende Handlungsbedarf ist zusammenfassend in *Abbildung 4* dargestellt.

1.4 Theoretische Grundlagen eines systemorientierten Gestaltungsansatzes

Die Effektivität des Produktionsprozesses wird in entscheidendem Maße durch die Handhabung der Komplexität im Materialfluß- und im Lenkungssystem bestimmt.

Die wichtigsten Gestaltungsprinzipien werden dabei aus

- den Ansätzen zur Handhabung der Komplexität im Rahmen der kybernetischen Systemtheorie, die vor allem von *ASHBY* und *BEER* begründet und von den St. Galler Theoretikern weiterentwickelt wurden,
- der Theorie hierarchischer Systeme von *MESAROVIC* u.a. sowie den Ansätzen zur hierarchischen Produktionsplanung¹⁰ und
- dem Paradigmenwechsel in der Logistik zur flußorientierten Führungsfunktion¹¹

⁸ Vgl. Schuh, G. u.a. 1998, S. 81

⁹ Vgl. Drexler, A. u.a. 1994

¹⁰ Im deutschsprachigen Raum wurde die hierarchische Produktionsplanung vor allem von K.-P. Kistner, M. Steven und H. Stadler weiterentwickelt. Vgl. Kistner, K.-P. 1992; Kistner, K.-P. / Switalski, M. 1989; Steven, M. 1994; Stadler, H. 1988 und 1996

¹¹ Vgl. Weber, J. / Kummer, S. 1994 und 1998; Klaus, P. 1998

abgeleitet. (Abbildung 5)

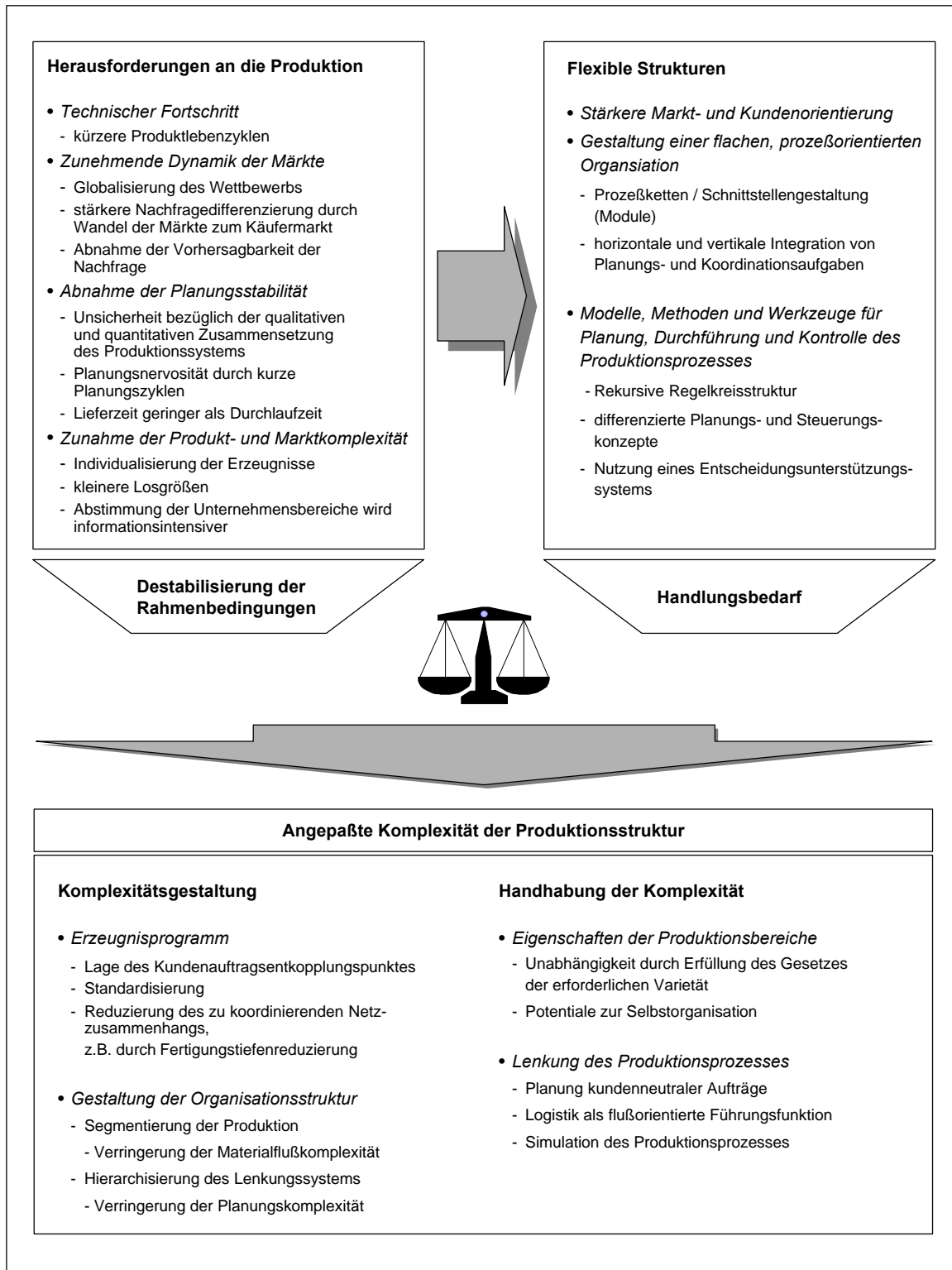


Abbildung 4: Handlungsbedarf

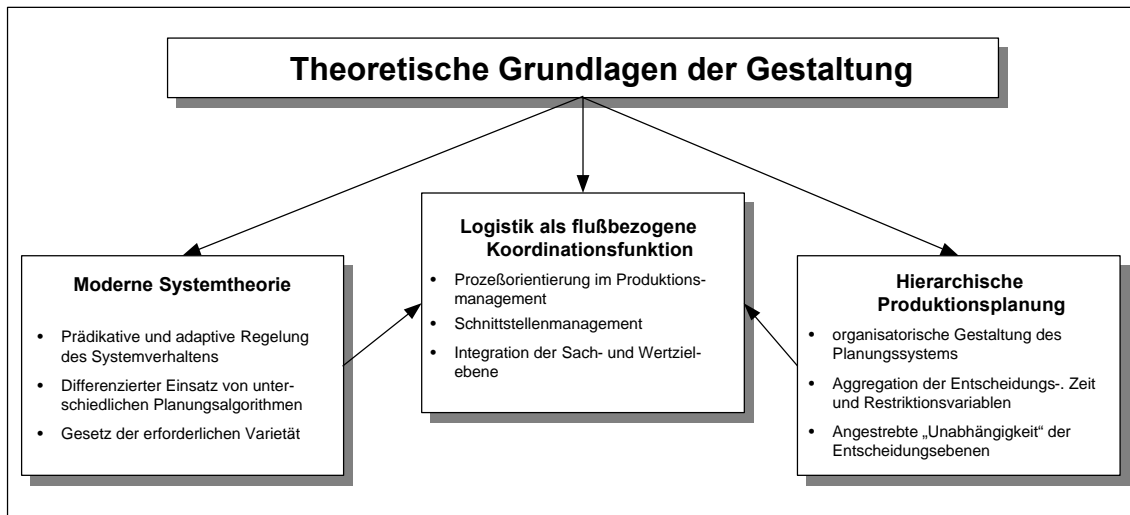


Abbildung 5: Theoretische Grundlagen der Gestaltung

Die Systemtheorie liefert einen Bezugsrahmen für eine abstrahierte Betrachtung des Produktionsprozesses, so daß eine Analyse der Wirkungsbeziehungen erfolgen kann. Die Modellierung der heterogenen Materialflußabschnitte als Schwarze Kästen ermöglicht zum einen eine Differenzierung in der Form, daß in den einzelnen Produktionsbereichen auf ihre Charakteristika abgestimmte Planungs- und Steuerungsverfahren eingesetzt werden können¹² und zum anderen werden die durch Segmentierung entstandenen Bereiche integriert, indem die Ursache-Wirkungs-Beziehungen des Systems in einem homomorphen Modell abgebildet werden. Die Systemtheorie stellt daher einen zweckmäßigen Denkraum für ein logistisches Verständnis des Unternehmens dar.¹³

Durch die Modularisierung des Produktionssystems entstehen heterogene Produktionsbereiche, für deren Abstimmung an den Schnittstellen aufbauend auf den Erkenntnissen der Systemtheorie neue Modelle und Koordinationsinstrumente zu entwickeln sind. Die Betrachtung des Produktionssystems als offenes, komplexes, sozio-technisches System führt zu der Erkenntnis, daß das Verhalten des Produktionssystems nicht exakt prognostizierbar und planbar, aber durch die Beachtung systemtheoretischer Gesetzmäßigkeiten in Richtung der Systemziele beeinflussbar ist.

Als flußorientierte Führungsfunktion verfügt die Logistik über das Potential, einen Beitrag zum bisher ungelösten Problem der Integration der durch Modularisierung entstandenen Teilsysteme zu leisten.

Die Funktionslogistik wurde zu einer systemorientierten Sichtweise der Logistik als flußorientierte Führungsfunktion weiterentwickelt.¹⁴ Im Gegensatz zu traditionellen Paradigmen, in denen der funktionalen Gestaltung der Aufbauorganisation die vorrangige Bedeutung beigegeben wurde, erfolgt bei einer logistischen Betrachtung des Produktionsprozesses ein Perspektivenwechsel von einer aufbauorientierten zu einer ablauforientierten Sichtweise.

¹² Vgl. Knolmeyer, G. 1987, S. 60. Drexl, A. u.a. 1994, S. 1028 f.

¹³ Vgl. Schuderer, P. 1996, S. 42; Pfohl, H.-Chr. 1996, S. 186

¹⁴ Vgl. Weber, J. / Kummer, S. 1998, S. 14 ff.; Klaus, P. 1998

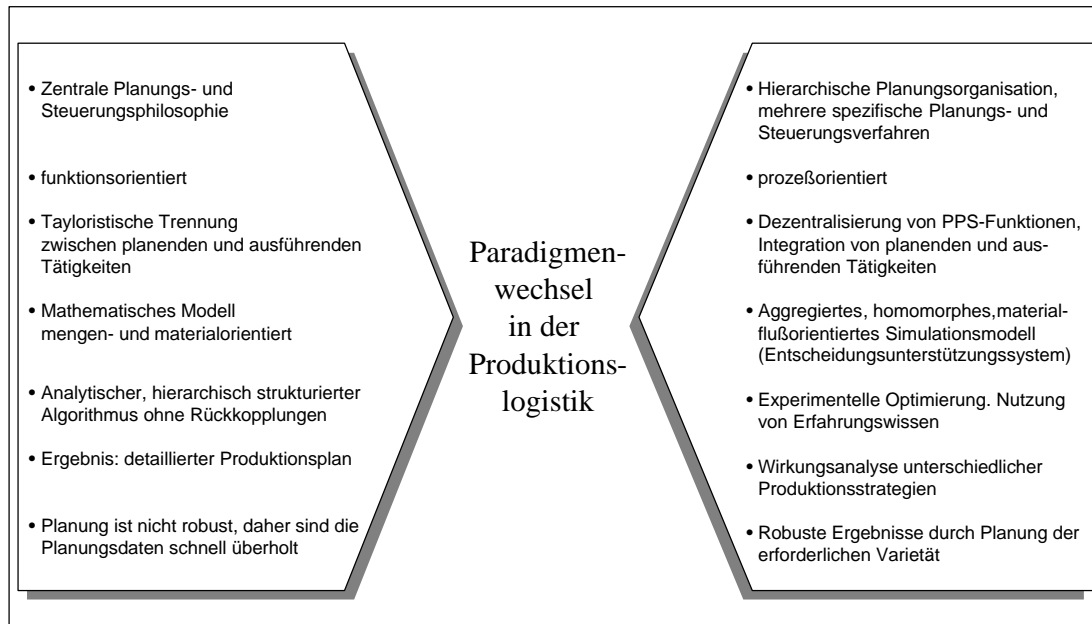


Abbildung 6: Paradigmenwechsel in der Produktionswirtschaft

Dem Logistikmanagement fällt dabei die zentrale Aufgabe des Schnittstellenmanagements und der Integration, d.h. der Koordination heterogener Produktionsbereiche durch die planerische Gestaltung der Materialflüsse, zu.

Aus der zunehmenden Koordinationskomplexität resultiert des weiteren die Notwendigkeit zur hierarchischen Strukturierung des Koordinationsprozesses, zur Dezentralisierung von Aufgaben der Produktionsplanung und –steuerung und zur Bildung vernetzter, lose gekoppelter, hierarchischer und horizontaler Regelkreise. Es ist die Organisationsform zu ermitteln, die in Bezug auf die logistische Serviceleistung, die vom Markt gefordert wird, den geringsten Koordinationsaufwand verursacht.¹⁵

1.5 Zielsetzung des Gestaltungs- und Lenkungsansatzes

Ziel der Gestaltung des Leistungssystems und der Lenkung des Produktionsprozesses muß es sein, eine hohe Kundennähe mit einer geringen Komplexität des Produktionsprozesses und einer hohen Effektivität und Effizienz zu verbinden. Erreicht wird dieses durch das Aufzeigen von Lösungen zur Handhabung der Komplexität in der Produktionslogistik.

Ausgehend von der Kernthese, daß die zentrale Aufgabe des Managements in der Bewältigung der Varietätsasymmetrie zwischen der Unternehmensumwelt und dem Produktionssystem besteht, stehen die folgenden Zielsetzungen im Mittelpunkt der folgenden Ausführungen:

- Worin liegen die Defizite traditioneller Ansätze zur Planung und Steuerung des Produktionsprozesses ?
- Welches sind die Haupteinflußfaktoren auf die Komplexität des Produktionsprozesses ?

¹⁵ Vgl. Wegner, U. 1996, S. 131

- Welche alternativen Formen der Organisationsgestaltung schaffen grundsätzlich die Voraussetzung für die Handhabung der Komplexität in einem komplexen, sozio-technischen System ?
- Wie ist das aus dem Materialfluß- und dem Lenkungssystem bestehende Leistungssystem zu organisieren, welche Koordinationsprinzipien sind einzusetzen und welche Informationen sind zwischen den Elementen des Leistungssystems auszutauschen, damit der Produktionsprozeß im Sinne des logistischen Zielsystems gelenkt werden kann ?
- Wie müssen die den Produktionsprozeß lenkenden Funktionen innerhalb des Leistungssystems verteilt werden, damit die Reaktionszeiten auf Störungen kurz sind und die Schnittstellen zwischen Materialflußabschnitten besser beherrscht werden ?
- Durch welche Instrumente wird eine zielgerichtete Beeinflussung des Produktionsprozesses auf den einzelnen Entscheidungsebenen unterstützt ? Im Zentrum steht hierbei die Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems.

Aus den vielfältigen Interdependenzen, die zwischen den Entscheidungen zur Gestaltung des Leistungssystems bestehen, folgt, daß die einzelnen Ziele nicht isoliert voneinander erreicht werden können, sondern daß die Teilprobleme nur im Gesamtzusammenhang zu lösen sind.

2 Grundlagen

DREXL u.a. definieren Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme als computergestützte Systeme zur kurzfristigen Planung, Steuerung und Kontrolle des Produktionsgeschehens bei vorgegebenen Kapazitäten.¹⁶ Die Funktionen eines PPS-Systems sind demnach im Kern dazu bestimmt, den Produktionsplan für einen mengen- und termingerechten Produktionsprozeß zu erstellen.

Der Ausgangspunkt für die Entwicklung traditioneller PPS-Systeme waren Datenbanksysteme zur Grunddatenverwaltung, die daten- und rechenintensive Stücklistenauflösung und die Auftragsverwaltung.¹⁷

2.1 Philosophie und Aufbau traditioneller PPS-Systeme

PPS-Systeme bauen auf der Prämisse auf, daß der Produktionsprozeß deterministisch ist und daß das gesamte Produktionsprogramm zu einem frühen Zeitpunkt bis in alle Einzelteile aufgelöst und als Fertigungsprogramm fortgeschrieben werden kann.¹⁸ Unter diesen Voraussetzungen kann der Fertigungsablauf durch einen mathematischen Algorithmus abgebildet und der Prozeß der Produktionsplanung und -steuerung durch ein EDV-gestütztes Planungssystem übernommen werden.

¹⁶ Vgl. Drexl, A. u.a. 1994, S. 1022

¹⁷ Vgl. Kistner, K.-P./ Steven, M. 1993, S. 256 ff.; Bloech, J. u.a. 1998, S. 300; Missbauer, H. 1998, S. 11; Zur Geschichte und den Entwicklungsstufen der PPS vgl. Schwarzmaier, U. 1995, S. 54 ff.

¹⁸ Vgl. Kern, S. u.a. 1989, S. 697; Ruffing, T. 1991, S. 75; Kern, S. 1994, S. 387

Desweiteren wird vorausgesetzt, daß sich alle Planungsvorgänge mit einer Sukzessivplanung realisieren lassen, wobei die Teilaufgaben zeitlich und organisatorisch schrittweise aufeinanderfolgend lösbar sind. Die Produktion wird als ein einziger großer Materialflußabschnitt betrachtet und alle Aufträge werden detailliert auf der Auflösungsstufe Arbeitsgang geplant.¹⁹ Dezentral werden nur ausführende Tätigkeiten übernommen.

Eine ausschließlich zentrale Planung und Steuerung des Produktionsprozesses setzen die prinzipielle Möglichkeit einer externen Lenkung voraus. Da sich der Zustand des Produktionssystems zu einem bestimmten Zeitpunkt und dessen zukünftige Entwicklung jedoch nicht mit Sicherheit vorhersagen lassen, sind die zukünftigen Handlungsalternativen und Wirkungszusammenhänge zum Zeitpunkt der Planung unbekannt.²⁰ Der Produktionsprozeß ist durch die Unsicherheit der entscheidungsrelevanten Größen gekennzeichnet, so daß sich die deterministisch ermittelten Größen in der Praxis nur selten durchsetzen lassen.²¹ Durch unerwartet auftretende Störungen veralten die vom PPS-System unter der Annahme vollständiger Informationen über den Produktionsprozeß erzeugten Planungsergebnisse und eine vollständige Neuplanung wird notwendig. Dieses führt zu nicht mehr überschaubaren Informationsflüssen im Gesamtsystem und zu einer hohen Planungsnervosität.²²

Das Charakteristikum der sukzessiven Planung ist die Zerlegung der Gesamtplanungsaufgabe in mehrere Teilaufgaben. Die dabei von klassischen PPS-Systemen gewählte Teilung ist funktional orientiert, das heißt, die Funktionen werden jeweils für alle Produkte durchgeführt.²³ Es wird nur eine Materialflußsteuerungsphilosophie, die sich aus der traditionellen Lagerhaltungstheorie ableitet, für das ganze Teilespektrum angewandt.²⁴ Obwohl in den meisten Unternehmen unterschiedlich organisierte Produktionsbereiche nebeneinander bestehen, werden keine auf diese abgestimmte Steuerungsverfahren eingesetzt.

In einem PPS-System wird der Produktionsprozeß im Rahmen einer deterministischen, linearen und nicht rückgekoppelten Planung (Push-Prinzip) abgebildet.²⁵ Da sich die Wirkungen stochastisch auftretender Ereignisse jedoch nicht vorhersagen lassen²⁶ ist aus kybernetischer Sicht ein Übergang von der Steuerung zum Prinzip der Regelung notwendig.

2.1.1 Problembereich Komplexitätsverständnis

Die Organisationsstruktur und die Abläufe in vielen Unternehmen werden bis heute von den auf- und ablauforganisatorischen Gestaltungsprinzipien der Lenkung des Produktionsprozes-

¹⁹ Vgl. Huber, P. 1993, S. 83

²⁰ Vgl. Adam, D. 1996, S. 16

²¹ Vgl. Bloech, J. u.a. 1998, S. 303

²² Vgl. Missbauer, H. 1998, S. 24

²³ Vgl. Scheer, A.-W. 1991, S. 15

²⁴ Vgl. Pawellek, G./ Hartmann, T., 1999, S. 31

²⁵ Vgl. Adam, D. 1990, S. 807

²⁶ Vgl. Scherer, E. 1996, S. 2

ses, deren Ursprung in dem auf *Taylor* zurückgehenden „*scientific management*“ zu sehen ist, bestimmt.²⁷

Die Grundsätze des „*scientific management*“ beruhen auf der Annahme, daß uniforme Mas-senerzeugnisse, deren Fertigung mit relativ geringem Planungsaufwand verbunden ist, von verhältnismäßig leicht zu kontrollierenden Absatzmärkten mit geringer Konkurrenz ohne Schwierigkeiten aufgenommen werden.²⁸ Unter diesen Voraussetzungen werden die Arbeits-abläufe in Einzelfunktionen zerlegt, das sich selbst regulierende Gefüge der Arbeitsgruppen wird aufgehoben und das Materialflußsystem wird in einzelne Betriebsmittel aufgeteilt. Mit der Auflösung der Arbeitsgruppen wird eine erhebliche Reduktion der Komplexität erreicht und eine wesentliche Voraussetzung für eine zentrale Planung und Steuerung geschaffen. Um das Verhalten auf der Prozeßebene zeitlich und sachlich berechenbar zu machen wird für jede Einzeloperation die effizienteste Verfahrensweise ermittelt.

Nach Auffassung von *ADAM* u.a. abstrahieren die traditionellen Organisationsstrukturen vom Komplexitätsproblem und die Führungssysteme sind nur für Situationen ohne Komplexität geeignet.²⁹

Das MRP-II-Konzept transformiert die komplexe Planungssituation in ein kompliziertes Mo-dell. Der traditionelle Ansatz zur Produktionsplanung und –steuerung unterstellt Linearität und isolierbare Kausalbeziehungen, so daß das Problem der Nichtbeachtung der wechselseiti-gen Abhängigkeiten und Rückkopplungen besteht. Die Programm- und die Produktkomple-xität fließen als Daten in das Modell ein.³⁰ Diese Form der Verringerung der Komplexität entspricht nicht einer an die Dynamik der Unternehmensumwelt angepaßten Handhabung der Koordinationskomplexität. Die Probleme turbulenter, d.h. dynamischer und instabiler Unter-nehmensumwelten mit gestiegenen Kundenanforderungen sind mit mechanistisch geprägten Organisations- und Managementmethoden und statischen Denkmodellen nicht mehr zu be-herrschen.³¹ Die Produktionsbereiche verfügen über keine eigenen Handlungsspielräume, um auf ungeplante Zustände zu reagieren. Aufgrund der fehlenden Flexibilität in den Produkti-onsbereichen kann eine Reaktion auf Störungen nur durch die zentrale Produktionsplanung erfolgen.

2.1.2 Fehlende Integration der Sach- und der Formalzielebene

In der traditionellen Auffassung von Wirtschaftlichkeit dominierte das Effizienzdenken.³² Bei der Planung und Steuerung des Produktionsprozesses stand daher das Ziel der Produktivität im Mittelpunkt. Stellen- und bereichsübergreifende Konsequenzen werden bei diesem Wirt-

²⁷ Im Taylorismus erfolgt keine explizite Unterscheidung zwischen Aufbau- und Ablauforganisation. Vgl. Gai-tanides, M. 1983, S. 5

²⁸ Vgl. Schüpbach, H. 1994, S. 58

²⁹ Vgl. Adam, D. / Johannville, U. 1998, S. 9

³⁰ Vgl. Bliss, C. 2000, S. 33

³¹ Vgl. Luczak, H./ Fricker, A. 1997, S. 312; Zehender, K. 1998, S. 23 und die dort zitierte Literatur

³² Vgl. Pfeiffer, W. u.a. 1994, S. 27 ff.

schaftlichkeitsverständnis nicht berücksichtigt.³³ So erfolgt die Planung in traditionellen PPS-Systemen ressourcenorientiert, während die Wirkungsbeziehungen zwischen den Ressourcen und deren Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit nicht betrachtet werden. Eine gezielte Lenkung des Produktionsprozesses nach den Zielen Termintreue, geringen Durchlaufzeiten oder niedrigen Beständen ist nicht möglich.³⁴

2.1.3 Problembereich Berücksichtigung der Organisationsstruktur

Die sich aus organisatorischer Sicht ergebenden Probleme müssen aus zwei Perspektiven betrachtet werden. Zum einen ist die Abbildung der hierarchischen Organisationsstruktur zu untersuchen, zum anderen die Unterstützung neuer Organisationskonzepte.

Klassische PPS- Systeme bilden die Unternehmensorganisation nicht ab. Es ist keine eindeutige Zuordnung von Kompetenzen, Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung vorgesehen.³⁵

Das Hierarchisierungskonzept traditioneller PPS-Systeme ist an der Fristigkeit der Planungsprobleme orientiert. Der Planungshorizont der Module wird mit jeder Hierarchieebene verkürzt während gleichzeitig der Detaillierungsgrad größer und das Zeitraster feiner gegliedert wird. Obwohl PPS - Systeme durch ihren sukzessiven Aufbau formal die Anforderungen, die an ein hierarchisches PPS - System gestellt werden, erfüllen und zwischen den Entscheidungsebenen eindeutige Über-/ Unterordnungsbeziehungen vorliegen, stellen traditionelle PPS-Systeme im Sinne von *STADTLER* keine hierarchischen Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme dar, sondern in ihnen ist ein hierarchischer Algorithmus implementiert.³⁶

Ein weiterer Schwachpunkt der PPS-Systeme ist die fehlende Flexibilität bezogen auf die Anpassung an geänderte Organisationskonzepte und die Einbindung anderer Planungsphilosophien.³⁷ Die traditionelle Zentralisierung der Produktionsplanung und -steuerung und die Abbildung von dezentralen Fertigungsstrukturen in einem einzigen Modell stehen im Widerspruch zur in den modernen Produktionskonzepten angestrebten Selbstorganisation, da die Daten der Feinplanung dem Planer im Produktionsbereich keine Planungs- und Entscheidungsspielräume belassen.

Auch fehlt in traditionellen PPS-Systemen das Datenstrukturelement Arbeitsfolge, in dem Arbeitsgänge zusammengefaßt und einem Produktionsbereich zugeordnet werden. Damit ist eine zentrale Voraussetzung zur Koordination dezentraler Produktionsbereiche nicht erfüllt.³⁸

³³ Vgl. Pfeiffer, W. u.a. 1994, S. 28

³⁴ Vgl. Adam, D. 1992, S. 11 f.

³⁵ Vgl. Wildemann, H. 1998a, S. 9. Klotz, U. 1993, S. 163 ff. spricht daher auch von „Computer-Aided-Taylorism“.

³⁶ Vgl. Stadtler, H. 1996, Sp. 632

³⁷ Vgl. Rohloff, M. 1995, S. 92 ff.. Rohloff ist der Auffassung, daß die PPS-Systeme traditionelle Abläufe zementieren. Vgl. Rohloff, M. 1995, S. 15

³⁸ Vgl. Kern, S. 1994, S. 396

PAWELLEK u.a. sehen das Hauptproblem darin, daß die Lenkung des Produktionsprozesses primär als Softwareproblem angesehen und die Organisationskomponente nicht berücksichtigt wird.³⁹ Es ist erforderlich, einen am Zielsystem des Unternehmens ausgerichteten Ausgleich zwischen zentralen und dezentralen Teilen der Aufgabenerfüllung zu finden.

2.1.4 Defizite traditioneller PPS-Systeme aus der Perspektive der Logistik

Aus der Perspektive der Logistik sind die Defizite traditioneller PPS-Systeme in der Konzentration auf die Kapazitäten und deren Auslastung und der Vernachlässigung des Materialflusses im Produktionssystem zu sehen. Das Verfahren wird damit den Anforderungen, die durch das kombinierte Logistik-, Lagerhaltungs-, Zuordnungs-, Warteschlangen- und Reihenfolgeproblem gegeben sind, nicht gerecht.

Die Durchlaufterminierung erfolgt in traditionellen PPS-Systemen für jeden Auftrag isoliert, ohne die Konkurrenz der Aufträge um die Kapazitäten zu berücksichtigen,⁴⁰ und die Losgrößenplanung erfolgt auf Basis fest vorgegebener Parameter unabhängig von bestehenden Kapazitätsrestriktionen.⁴¹ Die Durchlaufzeiten müßten das Ergebnis der Planung sein, werden aber bei der Durchlaufterminierung als gegeben angenommen.⁴² Bei der Losgrößenplanung geht das PPS-System von der Annahme aus, daß eine Produktionsaufteilungsplanung nicht existiert, d.h. es wird vom Einsatz einer Maschine ausgegangen, so daß sich das Problem unterschiedlicher Kosten und Produktivitäten nicht stellt.⁴³ Desweiteren werden die Fertigungslosgrößen ohne Berücksichtigung der in einer mehrstufigen Erzeugnisstruktur vorhandenen vertikalen Abhängigkeiten bestimmt.

Die isolierte Optimierung der Nutzung einzelner Betriebsmittel wirkt sich aufgrund der Vernachlässigung der bestehenden Interdependenzen negativ auf die Erfüllung der logistischen Zielgrößen aus. Auftrags- oder Lagerbestände vor jeder Fertigungsstufe sind erforderlich, die eine reibungslose Produktion und eine hohe Lieferfähigkeit ermöglichen.

2.1.5 Das offene Entscheidungsfeld

Die statische Sichtweise der MRP-II-Logik entspricht der Annahme, daß ein geschlossenes Entscheidungsfeld vorliegt.⁴⁴

Die reale Planungssituation ist jedoch dadurch gekennzeichnet, daß im Planungszeitraum neue Informationen bekannt werden, so daß sich die Annahme einer vollständigen Information des verantwortlichen Planers in der Praxis als unrealistisch erweist. Es liegt somit ein zeit-

³⁹ Vgl. Pawellek, G. u.a. 1994, S. 36

⁴⁰ Vgl. Adam, D. 1992, S. 14

⁴¹ Vgl. Missbauer, H. 1998, S. 27

⁴² Vgl. Missbauer, H. 1998, S. 27; Kistner, K.-P./ Steven, M. 1993, S. 271

⁴³ Vgl. Adam, D. 1992, S. 18; Burchert, H. 2000, S. 7

⁴⁴ Vgl. Schlüchtermann, J. 1996, S. 6

lich offenes Entscheidungsfeld vor.⁴⁵ Zum Zeitpunkt der Planung verfügt der Planer nur über unvollständige Informationen über die Störgrößen und die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge im Produktionssystem.⁴⁶ In zeitlich offenen Entscheidungsfeldern ist keine Optimierung des Produktionsprozesses im Sinne der klassischen Planungsphilosophie möglich, da die Entscheidungen von Informationen abhängen, die erst in der Zukunft bekannt sind.⁴⁷

2.1.6 Problem Strukturgleichheit der Abbildung der Systeme im Modell

Mit der Struktur wird im systemtheoretischen Sinn das Ordnungsgefüge der Elemente des Systems bezeichnet.⁴⁸ Die Abbildung der realen Systeme in einem umfassenden Planungsmodell muß so erfolgen, daß die zwischen den Elementen bestehenden Interdependenzen auch im Modell formal korrekt abgebildet werden.

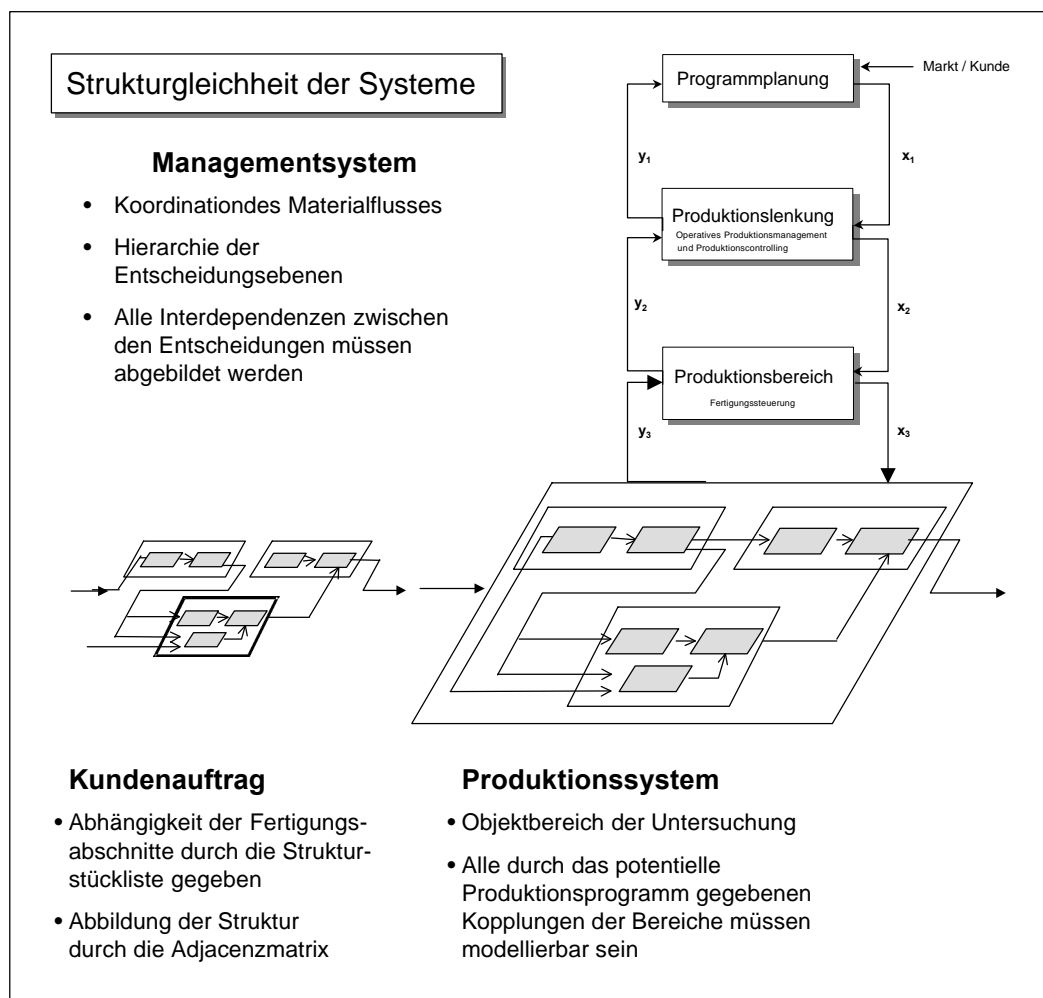


Abbildung 7: Strukturgleichheit der drei Systeme

⁴⁵ Vgl. Adam, D. 1996, S. 18 ff., Schlüchtermann, J. 1996, S. 2

⁴⁶ Vgl. Baetge, J. 1974, S. 25

⁴⁷ Vgl. Schlüchtermann, J. 1996, S. 36; Adam, D. 1996, S. 94

⁴⁸ Vgl. Schuhmann, W. 1991, S. 31

Die Strukturgleichheit bezieht sich auf die formal korrekte Abbildung der Erzeugnisstruktur, der Struktur des Produktionssystems und der Struktur des Lenkungssystems und der Abhängigkeiten zwischen diesen Systemen. (*Abbildung 7*) Es müssen alle Elemente und deren Vorwärts- und Rückwärtskopplungen berücksichtigt werden.

Werden in PPS-Systemen die Programmplanung, Mengenplanung, Terminplanung sowie der Kapazitätsabgleich als Elemente eines Systems aufgefaßt, so stellen die Ergebnisse der jeweils vorgelagerten Planungsebene die Eingangsdaten für das nächste Element dar.

Die Elemente sind im Rahmen einer Feed-Forward-Koordination gekoppelt. Fehler bei der Programmplanung, etwa in Form überlasteter Kapazitäten, lassen sich auf den untergeordneten Ebenen kaum noch korrigieren.⁴⁹ Desweiteren bestehen zwischen den auf den Planungsstufen Materialbedarfsplanung, Termin- und Kapazitätsplanung getroffenen Entscheidungen sachliche und zeitliche Interdependenzen. Da jede Planungsebene Informationen benötigt, die erst auf einer nachgelagerten Stufe verfügbar sind, werden die Interdependenzen zwischen den Stufen durch Annahmen über die erst später verfügbaren Informationen berücksichtigt. So geht die Losgrößenplanung davon aus, daß die Bedarfstermine realistisch sind, d.h. daß die Durchlaufzeiten den Plandurchlaufzeiten entsprechen. Desweiteren wird der aktuelle Systemzustand unzureichend berücksichtigt.⁵⁰

In dem Modellansatz traditioneller PPS-Systeme liegt weder eine strukturerhaltende noch eine verhaltenstreue Abbildung des Leistungserstellungssystems und des Entscheidungsproblems vor. Die detaillierte Planung gibt dem Planer ein falsches Gefühl von Sicherheit.⁵¹

Desweiteren werden die Phasen des Entscheidungs- bzw. Problemlösungsprozesses nicht unterstützt und eine strukturerhaltende Abbildung der Kundenaufträge ist nicht gewährleistet.

2.2 Kybernetische Grundlagen

2.2.1 Systembetrachtung des Leistungssystems

ULRICH bezeichnet die Unternehmung als ein offenes, zielorientiertes, produktives, soziales System, in dem nicht nur vielfältige Relationen zwischen den Elementen des Systems bestehen, sondern auch zwischen dem System und seiner Umwelt.⁵²

Das Produktionssystem ist ein System mit einer statischen (Systemstruktur) und einer dynamischen Komponente (Systemverhalten). Die Elemente des Materialflusssystems sind, in Abhängigkeit des Aggregationsgrades, die Betriebsmittel bzw. die Produktionsbereiche, in denen

⁴⁹ Vgl. Missbauer, H. 1998, S. 12

⁵⁰ Vgl. Kern, S. u.a. 1989, S. 697; Ruffing, T. 1991, S. 75

⁵¹ "I know, that most of these figures are wrong, but it certainly gives me a good feeling to have all of them." Meal, H.-C., 1984, S. 110

⁵² Vgl. Ulrich, H., 1970, S. 153 ff. ; Malik, F. 1992, S. 23; Malik, F. 2000, S. 269 ff.. Aus dem Systemcharakter des Unternehmens ergibt sich die Tatsache, daß dieses nur als Ganzheit sinnvoll erfaßt, gestaltet und beeinflusst werden kann. Vgl. Malik, F. 2000, S. 272

sich der operative Produktionsprozeß vollzieht. Werden die Elemente als Knoten und die Material- und Informationsflußbeziehungen als Kanten dargestellt, dann kann diese Struktur als ein Wertschöpfungsnetzwerk interpretiert werden, durch das Flüsse in Form von Kundenaufträgen fließen.

Das Produktionssystem ist offen, da Material- und Informationsflußbeziehungen mit seiner Umwelt bestehen. Diese Eigenschaft des Produktionssystems gewinnt an Bedeutung, da die Produktion nicht mehr durch ein Fertigwarenlager vom Absatzmarkt entkoppelt ist, sondern der Kunde mit zunehmender Kundennähe im Leistungsprogramm einen unmittelbaren Einfluß auf den Produktionsprozeß hat.

2.2.2 Die Black-Box-Methode als Gestaltungsansatz

Das Prozeßergebnis eines Systems in einem definierten Zeitraum ist allgemein abhängig von der Funktion seiner Elemente, seiner Struktur, die durch die Materialflußbeziehungen im Produktionssystem gegeben ist, und seinen Prozeßvoraussetzungen.⁵³ Ansatzpunkte für eine Regelung des Produktionssystems sind somit die Operatoren T_i , die Kopplungsmatrizen C_{ij} und die Inputvektoren \underline{x}_i . (Abbildung 8)

Die Komplexität der Lenkung des Produktionsprozesses erfordert eine Strukturierung des Lenkungssystems in verschiedene Lenkungsebenen, die sich bezogen auf den sachlichen und zeitlichen Aggregationsgrad unterscheiden. Für die Darstellung der Prozeßhierarchie eignet sich insbesondere die Black-Box-Methode. Eine „Black-Box“⁵⁴ repräsentiert ein beliebiges System, dessen innere Struktur und Wirkungszusammenhänge ganz oder teilweise einer detaillierten Betrachtung unzugänglich sind.⁵⁵ Diese Eigenschaft ermöglicht die Abbildung und Lenkung heterogener, aus Produktionsbereichen mit unterschiedlicher Fertigungsablaufart bestehender, Produktionssysteme.

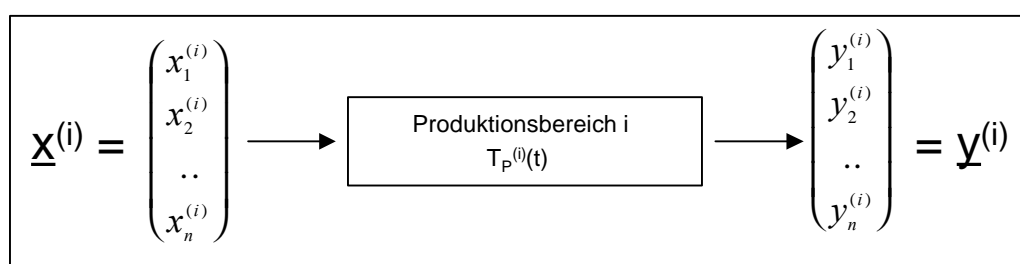


Abbildung 8: Struktur eines als Black-Box modellierten Systems

Die Black-Box-Betrachtung von Systemen darf jedoch nicht ausschließlich als Instrument zur Verringerung der Komplexität im Zusammenhang mit der Strukturierung von Systemen verstanden werden. Einen Beitrag zur Handhabung der Komplexität liefert die Black-Box nur

⁵³ Vgl. Golenko, D.I. u.a. 1977, S. 15; Lange, O., 1969, S. 28 ff.

⁵⁴ Die Begriffe „Black-Box“ und „Schwarzer Kasten“ werden im folgenden synonym verwendet.

⁵⁵ Vgl. Ashby, W. R. 1957, S. 86 ff.. Durch die Black-Box-Betrachtung wird ein nichttriviales (Sub-) System in ein triviales System überführt. Vgl. Ulrich, H./ Probst, G.J.B., 1995, S. 58

dann, wenn der Schwarze Kasten gleichzeitig als Varietätsgenerator⁵⁶ aufgefaßt wird. Die Erzeugung von Varietät besteht darin, daß sämtliche Verbindungen zwischen Inputs und Outputs offenstehen.⁵⁷ Die Black-Box eignet sich somit insbesondere zur Koordination teilautonomer Strukturen.

Notwendig ist hierfür ein Paradigmenwechsel von den traditionellen, mechanistischen Denkansätzen hin zu einer systemorientierten Betrachtung.

2.2.3 Traditionelle und systemische Denkansätze

Traditionelle Denkansätze in der Logistik beruhen auf der Vorstellung, daß das Unternehmen als eine Maschine im Sinne der klassischen Mechanik angesehen werden kann⁵⁸ und daß die Produktionsprozesse nach dem Prinzip der Rationalität durch eine zentrale Instanz gelenkt werden können.

Analytic Approach	Systemic Approach
Isolates, then concentrates on the elements	Unifies and concentrates on the interaction between elements
Studies the nature of interaction	studies the effects of interaction
Emphasizes the precision of details	emphasizes global perception
modifies one variable at a time	modifies groups of variables simultaneously
Remains independent of duration of time; the phenomena considered are reversible.	integrates duration of time and irreversibility
Validates facts by means of experimental proof within the body of theory	validates facts through comparison of the behaviour of the model with reality
Uses precise and detailed models that are less useful in actual operation (example: econometric models)	uses models that insufficiently rigorous to be used as bases of knowledge but are useful in decision and action (example: models of the Club of Rome)
Has an efficient approach when interactions are linear and weak	has an efficient approach when interactions are nonlinear and strong
Leads to discipline-oriented (juxtadisciplinary) education	leads to multidisciplinary education
Leads to action programmed in detail	leads to action through objectives
Processes knowledge of details poorly defined goals	possesses knowledge of goals, fuzzy details

Abbildung 9: Gegenüberstellung des analytischen und systemischen Denkansatzes⁵⁹

⁵⁶ Vgl. Krieg, W. 1971, S. 65 und S. 113 ff.

⁵⁷ Vgl. Probst, G.J.B. 1981, S. 183

⁵⁸ Vgl. Malik, F. 1992, S. 37 ff.; Häfele, W. 1993, S. 74 ff.

⁵⁹ Vgl. Rosnay, J. de, 2000; Malik, F. 2000, S. 119

Demgegenüber bewirkt das Systemdenken einen Paradigmenwechsel. Das Produktionssystem wird nicht mehr als Summe einzelner Teilfunktionen gesehen, sondern als System untereinander vernetzter Prozesse, das sich wie ein Organismus verhält.⁶⁰ Die Verlagerung des Fokus von den einzelnen Systemelementen auf die Struktur und das Verhalten des Gesamtsystems stellt die Unternehmensorganisation in den Mittelpunkt. Eine Entscheidung bezogen auf ein einzelnes Element des Produktionssystems erfolgt unter dem Aspekt seines Beitrages zur Leistung des ganzen Systems.⁶¹

Auf der Grundlage des Systemdenkens lassen sich komplexe logistische Systeme analysieren, beschreiben und gestalten. Insbesondere ermöglicht das Systemdenken eine ganzheitliche Betrachtung der Wirkungszusammenhänge⁶² innerhalb eines Logistiknetzwerkes. Die systemische Auffassung, daß das Management die Aufgabe vieler in einem System ist,⁶³ unterstützt zudem die Lenkung teilautonomer Organisationseinheiten.

2.2.4 Die zielgerichtete Beeinflussung des Systemverhaltens unter Anwendung kybernetischer Prinzipien

Die Kybernetik bezeichnet „die auf Prinzipien der Steuerung und der Regelung basierende Wissenschaft von der Struktur und dem Verhalten dynamischer Systeme“.⁶⁴ Im Mittelpunkt stehen dabei nicht die Organisationsstrukturen, sondern die Prozesse.

Das Ziel der Organisationskybernetik liegt in der Schaffung und Lenkung sich selbstorganisierender Systeme, die in der Lage sind, sich an externe und interne Störungen anzupassen, um auf diese Weise Planabweichungen zu verhindern und die gleichzeitig im Hinblick auf das Zielsystem des Unternehmens integriert sind. Die Organisation des Lenkungssystems als hierarchische Struktur, deren Ebenen nach den kybernetischen Prinzipien der Steuerung oder Regelung gekoppelt sind (statisch-struktureller Aspekt), sowie die Verteilung der Funktionen auf die Hierarchieebenen und die prozeßorientierte Lenkung des Produktionsprozesses (dynamisch-funktional-ausgerichteter Gestaltungsaspekt) sind in der Lage, einen Beitrag zur Erfüllung dieser Zielstellung zu leisten.

Die begrenzte Varietät aller Organisationen bedingt, daß gewisse Ereignisse für eine Organisation unvorhersehbar sind. Liegen demzufolge äußerst komplexe Systeme vor, so können diese im allgemeinen nicht durch eine reine Steuerung stabilisiert werden, da stochastische Einflußgrößen, deren Auftreten nach Art, Umfang und zeitlichem Auftreten zum Zeitpunkt der Ablaufplanung unbekannt ist, zu Planabweichungen führen. Um ein dynamisches Gleichgewicht aufrechtzuerhalten, müssen diese Systeme Rückkopplungsstrukturen aufweisen.

⁶⁰ Vgl. Malik, F. 1992, S. 48; Häfele, W. 1993, S. 78 ff.; Malik, F. 2000, S. 104 ff.; Fricker, A. R. 1996, S. 17

⁶¹ Vgl. Pfohl, H. Chr. 1996, S. 28

⁶² Pfeiffer bezeichnet das Denken in Wirkungszusammenhängen auch als prozeßorientiertes Denken. Vgl. Pfeiffer, W. u.a. 1994, S. 45

⁶³ Vgl. Malik, F. 1992, S. 48 f.

⁶⁴ Vgl. Baetge, J. 1983, S. 13 ff.

Durch eine Kombination der prädikativen und der adaptiven Regelung, auch als Regelkreis mit Störgrößenaufschaltung bezeichnet, lassen sich die Vorteile beider Verfahren zur Lenkung des Produktionsprozesses nutzen. Störungen, soweit sie nach Art und Wirkung auf die Regelstrecke bekannt sind, werden durch Planung antizipiert, während qualitativ und quantitativ zum Planungszeitpunkt unbekannt Störungen, die auf der nachgeordneten Hierarchieebene mit den verfügbaren Handlungsalternativen nicht bewältigt werden können, nach ihrem Auftreten ausgeregelt werden. Die zukünftigen Regelgrößen können dabei mit Hilfe eines Simulationsinstrumentes, welches das kapazitive Systemverhalten abbildet, antizipiert werden. Der Nachteil der Regelung, das Zeitverhalten, wird umgangen. Durch die Messung einer begrenzten Anzahl von Regelgrößen ist die Regelung mit weniger Aufwand verbunden, da die Vielzahl der möglichen Störungen und ihre Wirkungen ex-ante nicht mit Sicherheit bekannt sein müssen.

2.2.5 Begriff, Ursachen und Symptome der Komplexität

Der dynamische Komplexitätsbegriff beschreibt die Komplexität als die Fähigkeit eines Systems, in einer gegebenen Zeitspanne eine große Zahl von unterscheidbaren Zuständen annehmen zu können.⁶⁵

Die größte Bedeutung als Komplexitätstreiber besitzen der Markt und seine Dynamik, wobei die zunehmende Nachfrage nach kundenspezifischen Problemlösungen und die gestiegene Bedeutung kurzer Lieferzeiten und hoher Termintreue wesentliche Faktoren darstellen

Jedoch ist nicht die Umweltkomplexität, sondern die vom Unternehmen verfolgte Strategie der Umsetzung der externen Komplexität in die interne Komplexität des Unternehmens und die Komplexität der Organisationsstruktur sind verantwortlich für das Komplexitätsproblem in der Produktionslogistik. In vielen Unternehmen liegt die Ursache für die Überkomplexität in der komplexen Zielsetzung einer „totalen Kundenorientierung“ und einer zu hohen Fertigungstiefe.⁶⁶

Grundsätzlich basiert die Komplexität der Produktionslogistik auf der Komplexität der Ressourcen, der Organisation und des Produktionsprogramms.⁶⁷ In ihrem Kern ist die Komplexität jedoch keine Eigenschaft des Produktionssystems, sondern die des Problems, ein bestimmtes Produktionsprogramm in der richtigen Menge, in der richtigen Qualität zum richtigen Zeitpunkt zu fertigen.

Die Komplexität der Produktionslogistik kann auf die in der *Abbildung 10* dargestellten Faktoren Kompliziertheit, Dynamik und Unsicherheit zurückgeführt werden.

⁶⁵ Vgl. Ulrich, H. 1970, S. 117; Malik, F. 1992, S. 186; Ulrich, H./ Probst, G.J.B. 1995, S. 58. Nach Auffassung von Haberfellner ist die Dynamisierung erforderlich, da Komplexität mit dem Verhalten in Beziehung steht und statische Systeme kein Verhalten zeigen. Vgl. Haberfellner, R. 1975, S. 22.

⁶⁶ Vgl. Roever, M. 1991. Über die Marktanforderungen wird durch die Anzahl und die Änderungshäufigkeit der Varianten von außen Komplexität in das Unternehmen hereingetragen. Vgl. Wildemann, 1998b, S. 49

⁶⁷ Vgl. ausführlich Höge, R. 1995, S. 6 und die dort zitierte Literatur

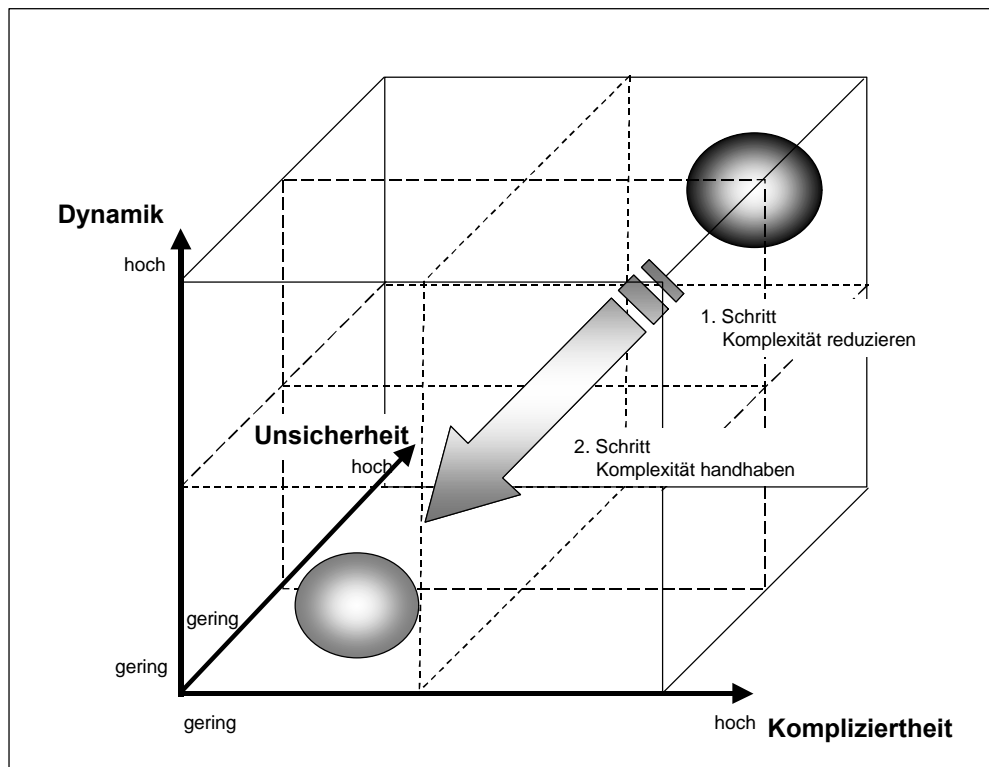


Abbildung 10: Die Komponenten der Komplexität

Die Kompliziertheit als Eigenschaft gibt an, daß ein System aus einer Vielzahl und Vielfalt von Teilen besteht, die miteinander vielfältig verbunden sind. Die Vielzahl stellt dabei auf die Anzahl der Elemente und Relationen ab, während die Vielfalt ihre Unterschiedlichkeit bzw. Heterogenität zum Ausdruck bringt.

Erweiterungs- und Ersatzinvestitionen in der Vergangenheit haben zu heterogenen Produktionsstrukturen geführt. Herrscht keine Nachfrageunsicherheit und ein stetiger Bedarf und ist die Zusammensetzung des gefertigten Teilespektrums stabil, wie dieses bei einer Großserien- oder Massenfertigung der Fall ist, und unterliegt das System keinen Störungen, dann reicht es aus, das System umfassend zu analysieren, um auf der Basis berechenbarer Relationen eine hinreichend genaue Prognose über sein Verhalten zu erstellen.⁶⁸

Komplexe Systeme unterscheiden sich von komplizierten Systemen durch ihr Zeitverhalten, ihre Dynamik. Die Dynamik entsteht durch die geringe Stabilität der Struktur des Planungsproblems und äußert sich in der Veränderlichkeit der koordinationsrelevanten Größen. Die Schwankungen in der Nachfrage führen zu einer hohen Veränderlichkeit der Zusammensetzung des Variantenmixes und damit der Intensität der Materialflußbeziehungen zwischen den Produktionsbereichen. Innerhalb des Systems bestehen vielfältige Wechselwirkungen und Rückkopplungen mit verschiedenen Wirkungsdauern und Zeitverzögerungen.⁶⁹ Neben der Dynamik stellen die Unsicherheit und die zur Verfügung stehende Zeit weitere Einflußfaktoren auf die Komplexität dar.

⁶⁸ Vgl. Ulrich, H. / Probst, G.J.B. 1995, S. 108

⁶⁹ Vgl. Huber, P. 1993, S. 23

Die Komplexität der Produktionslenkung resultiert aus der Heterogenität der zeitgleich zu koordinierenden Aufträge und Produktionsprozesse, der Vielfalt der Ressourcen und der Materialflußbeziehungen. Sie ist um so höher, je größer die Variantenvielfalt, je dynamischer der Bedarfsverlauf und die Zusammensetzung des Auftragsbestandes, je höher die Nachfrageunsicherheit sind und je größer die Zahl der zu berücksichtigenden Handlungsalternativen ist.

Die Varietätsasymmetrie zwischen der Umwelt und der traditionellen Organisationsstruktur beinhaltet eine latente Existenzgefährdung. Um die Komplexität erfolgreich zu handhaben und um die Wahrscheinlichkeit von Plan-Ist-Abweichungen zu verringern, muß das nachfolgend dargestellte „*Law of requisite Variety*“ erfüllt sein.

2.2.6 Das Gesetz der erforderlichen Varietät

Als Varietät wird die Anzahl unterschiedlicher Zustände eines Systems bezeichnet.⁷⁰ Sie kann als ein Maß für die Komplexität des Systemverhaltens interpretiert werden.⁷¹

Die Möglichkeiten einer gezielten Beeinflussung des Systemverhaltens werden durch die verfügbare Varietät, d.h. durch die verfügbaren Freiheitsgrade der jeweiligen Koordinationsinstanz bestimmt.

Auf *W. R. ASHBY* geht der Nachweis des Zusammenhangs zwischen der Varietät der Störgrößen und der zur Bekämpfung dieser Varietät notwendigen Reaktionsvarietät zurück.⁷² Der als "*Ashby's law*" bekanntgewordene Zusammenhang lautet:

$$„Only variety can destroy variety“⁷³$$

Das System muß ein bestimmtes Maß an Freiheitsgraden besitzen, um einen geplanten Systemzustand zu erreichen. Formal lautet das Gesetz der erforderlichen Varietät:

$$V_{\text{resultierend}} = V_D - V_R + V_{DR}$$

mit

- D Störung (Disturbance)
- R Reaktion (Response)
- DR Varietät, die durch falsche Reaktion entsteht.

Die Varietät der Reaktionsmöglichkeiten begrenzt die Varietät der sich aus Störungen eines Gleichgewichtes ergebenden Zustände. Das Varietätstheorem bildet die formale Grundbedingung für die Gestaltung und Lenkung stabilitäts- und zielorientierter dynamischer Systeme.⁷⁴

⁷⁰ Vgl. Malik, F. 1992, S. 186; Krieg, W., 1971, S. 55

⁷¹ Vgl. Krieg, W., 1971, S. 53; Ashby, 1957, S. 124 ff.

⁷² Ashby, W.R. 1957, S. 202 ff.; Krieg, W. 1971, S. 60 ff.

⁷³ Vgl. Ashby, W.R. 1957, S. 207: „Only variety in R can force down the variety due to D; variety can destroy variety“, ders., S. 207, tlw. fett; Vgl. auch Krieg, W. 1971, S. 60 ff.; Malik, F. 1992, S. 22 ff. und S. 191 ff.

Ein Produktionsbereich muß jederzeit über ausreichende Handlungsmöglichkeiten verfügen, die ihn in die Lage versetzen, zu reagieren, ohne daß die dadurch hervorgerufene Dynamik die Stabilität des Produktionssystems gefährdet.⁷⁵ Das Gleichgewicht zwischen Komplexitätspotential, Komplexitätskompetenz und Komplexitätsbedarf ist eine Voraussetzung für die Minimierung der Varietät der Ausgangszustände der Produktionsbereiche am Ende einer Planungsperiode.⁷⁶ Die Komplexitätskompetenz bezeichnet dabei das dispositive Potential zur Handhabung der Komplexität, die Selbstorganisation, während das Komplexitätspotential die Verfügbarkeit von intensitätsmäßigen, zeitlichen oder quantitativen Anpassungsmaßnahmen umfaßt.

Aus der Perspektive der Produktionslenkung stellt ein Produktionsbereich dann ein robustes System dar, wenn er trotz interner Störungen ein Verhalten aufweist, das dem geplanten entspricht.

Dem Gesetz der erforderlichen Varietät entsprechend bestehen die prinzipiellen Möglichkeiten einer Varietätsbeschränkung der Ausgangsgrößen in der Verringerung der Varietät der externen Störung, der Erhöhung der Varietät des internen Regelungssystems in den Produktionsbereichen und in der Verringerung der internen Störgröße.⁷⁷

Zunächst besteht die Möglichkeit einer Verringerung von V_D , z.B. durch eine selektive Inputaufnahme in Form einer homogenen Zusammensetzung des zu bearbeitenden Auftragsbestandes. Das Produktionssystem wird von der Komplexität des Absatzmarktes durch eine geeignete Umsetzung der Kundennähe im Erzeugnisspektrum abgeschirmt. Gestaltungspotentiale liegen hier in der Reduzierung der Variantenvielfalt auf allen Fertigungsstufen oder einer Verringerung der Fertigungstiefe.⁷⁸

Bei gegebener Störungsvarietät durch die Eingangsgrößen kann die Varietät der Ausgangsgrößen nur durch eine entsprechend erhöhte Varietät der Systemreaktion verringert werden.⁷⁹ Das primäre Ziel besteht deshalb darin, die Lenkungs-kapazität in dem Maße zu erhöhen, daß das Management auf der Prozeßebene, das für die operative Feinplanung und Steuerung zuständig ist, eine Vielzahl von Reaktionsmöglichkeiten besitzt, um Planabweichungen und damit eine Destabilisierung des Produktionssystems zu verhindern.

⁷⁴ Vgl. Luczak, H./Fricker, A. 1997, S. 317 ff.

⁷⁵ Vgl. Scherer, E. 1996, S. 59

⁷⁶ Vgl. hierzu Reiß, M. 1993, S. 57

⁷⁷ Vgl. hierzu Krieg, W., 1971, S. 63

⁷⁸ Vgl. Eidenmüller, B. 1991, S. 90 ff.; Köster, O. 1998, S. 46

⁷⁹ Vgl. Krieg, W., 1971, S. 61

2.2.7 Die Schaffung von Ordnung als Ziel des Varietätsengineering

Das Ziel des Managements besteht in der Gestaltung der erforderlichen Varietäten, was von *BEER* als „*variety engineering*“ bezeichnet wird.⁸⁰

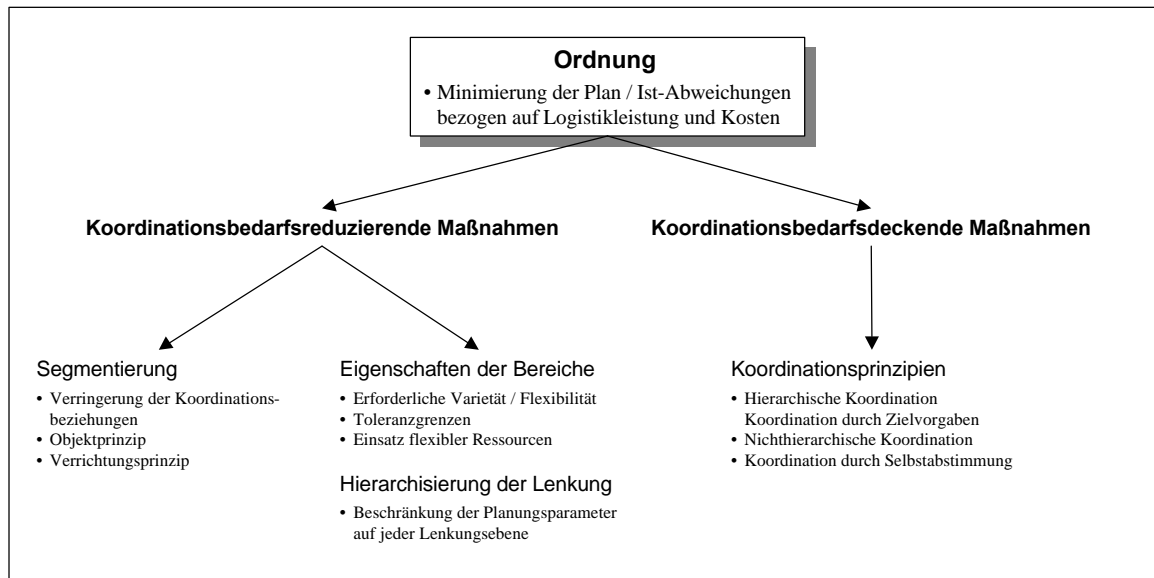


Abbildung 11: Erhöhung der Ordnung durch Differenzierung und Integration

Aus kybernetischer Sicht ist Management die Gestaltung und Anwendung von Instrumenten zur Varietätserhöhung und -verminderung. Erreicht wird die Beschränkung der Varietät der Ausgangszustände durch die Schaffung bzw. Erhöhung der Ordnung des Produktionssystems. Ordnung manifestiert sich in statischer Sicht durch die Struktur, in dynamischer Art durch ein bestimmtes Verhaltensmuster vom Ganzen.⁸¹ Sie wird zum einen durch koordinationsbedarfsreduzierende Maßnahmen (Differenzierung) und zum anderen durch koordinationsbedarfsdeckende Maßnahmen (Integration) geschaffen. (Abbildung 11)

Bezogen auf die Strukturen auf der Materialflüssebene impliziert die Segmentierung, daß nur noch zwischen den Produktionsbereichen Materialflußbeziehungen existieren. Zu den formalen Elementen der Gestaltung zählen ferner die Anzahl der Lenkungsebenen, deren Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten, sowie die Relationen zwischen den Ebenen.

Auch wenn die Komplexität nicht vollständig beherrscht werden kann, so ist es doch möglich, das System durch Schaffung von Ordnung zielgerichtet zu beeinflussen und die Varietät der Elemente und des Systems als Ganzes zu beschränken.⁸²

⁸⁰ Vgl. Beer, S. 1985, S. 26. Varietätsengineering bezeichnet eine Form der Komplexitätshandhabung, die das Komplexitätsgleichgewicht durch Maßnahmen der Varietätsreduktion und der Varietätserhöhung anstrebt. *BEER* spricht von „*variety attenuator*“ und „*variety amplifier*“. Vgl. Beer, S. 1985, S. 23 und S. 27

⁸¹ Vgl. Ulrich, H. / Probst, G.J.B., S. 72 und S. 77

⁸² Vgl. Malik, F. 1992, S. 63

2.3 Der Paradigmenwechsel in der Produktionslogistik

ZÄPFEL definiert Produktionslogistik als „... Lenkung des Material- und Informationsflusses von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen vom Rohmateriallager zur Produktion sowie von Halbfabrikaten und Zukaufteilen durch die Stufen des Produktionsprozesses.“⁸³ Sie regelt ein komplexes, mehrstufiges, vernetztes Produktions-Lagerhaltungssystem, das aus den Produktionsbereichen und den dazwischen liegenden Lägern gebildet wird. Produktionsvorgänge und logistische Aktivitäten sind eng miteinander verknüpft, teilweise sogar untrennbar miteinander verbunden und können somit nur simultan betrachtet werden.

Die Logistik nimmt aufgrund ihrer Querschnittsfunktion im Unternehmen eine ganzheitliche, ablaufbezogene Sichtweise ein. Dem Logistikmanagement fällt zunehmend die zentrale Aufgabe des Schnittstellenmanagements und der Integration, d.h. der Koordination der Produktionsbereiche durch die planerische Gestaltung der Potentiale und der Materialflüsse, zu.⁸⁴

Grundlegend für diese Logistikkonzeption ist die systemtheoretische Betrachtungsweise, d.h. die Abkehr vom traditionell mechanistischen Denken.⁸⁵ Im Sinne des Systemansatzes ist jedes Produktionssystem als Wertschöpfungsnetzwerk darstellbar, dessen Knoten Kapazitäten und dessen Relationen die Materialflußbeziehungen repräsentieren.⁸⁶ Diese flußorientierte Netzwerkperspektive erlaubt es, arbeitsteilige Wertschöpfungsprozesse auf verschiedenen Betrachtungsebenen und in verschiedenen Detaillierungsgraden darzustellen, so daß die Wechselwirkungen der interdependenten Prozesse bei Gestaltungs- und Steuerungsentscheidungen berücksichtigt werden können.⁸⁷

Die Flußorientierung in der Logistik ist eine Folge der zunehmenden Prozeßorientierung im Unternehmen. Die Logistik entwickelte sich zu einer speziellen Denkhaltung oder Perspektive der Unternehmensführung.⁸⁸ Sie baut auf einer Neubewertung der Funktion der Bestände auf und läßt sich mit „Materialflußorientierung“ statt „Materialbestandsoptimierung“ beschreiben.⁸⁹

Dieser Paradigmenwechsel der Logistik äußert sich auch in der flußorientierten Logistikdefinition des *COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT*:

„Logistics is that part of the supply chain process that plans, implements, and controls the efficient, effective flow and storage of goods, services, and related information from

⁸³ Zäpfel, G. 1991, S. 211

⁸⁴ Vgl. Wegner, U. 1996, S. 18; Schuderer, P. 1996, S. 2

⁸⁵ Vgl. Pfohl, H.-Chr. 1996, S. 26 und die dort zitierte Literatur.

⁸⁶ Vgl. Klaus, P. 1998, S. 67; Delfmann, W. 1995, S. 509 f.. Da in den Knoten Prozesse ablaufen, kann das Produktionssystem auch als ein System von Prozessen gesehen werden.

⁸⁷ Vgl. Delfmann, W. 1995, S. 507 f.

⁸⁸ Vgl. Delfmann, W. 1995, S. 506 ff.

⁸⁹ Vgl. Knolmeyer, G. 1987, S. 53 ff.

the point of origin to the point of consumption in order to meet customers' requirements. ⁹⁰

KUMMER nennt folgende wesentliche Leistungsmerkmale für flußorientierte Strukturen:⁹¹

- eine geringe Komplexität des Produktionsprogramms durch prozeßgerechte Produkte und eine spätestmögliche Variantenbildung. Als Meßgrößen für die Komplexität können die Anzahl der Elemente des Systems und die Anzahl der Beziehungen zwischen den Elementen herangezogen werden;
- die Abgestimmtheit der Wertschöpfungsstruktur (Kohärenz) in Form einer flußorientierten flachen Organisation, die Begrenzung der von einem Auftrag von der Annahme bis zur Auslieferung zu durchlaufenden Stellen und ereignisorientierte Informationssysteme;
- die Adaptionfähigkeit an neue Produkte und Prozesse, die vor allem von der Einsatzflexibilität der Ressourcen und der Gestaltung der Schnittstellen abhängt;
- ein effizientes Führungssystem mit eindeutigen Zuständigkeiten, harmonisierten Schnittstellen und einem abgestimmten Informationssystem, so daß bei Auftreten von Problemen schnelle Entscheidungen getroffen werden können und die Koordinationskosten gering sind;
- die Kundenorientierung des Gesamtprozesses, gemessen durch die gegenüber dem Kunden erbrachte Logistikleistung sowie die Reaktions- und Anpassungsfähigkeit bei Änderungen der Spezifikation durch den Kunden oder bei neuen Erzeugnissen. Der Prozeß beginnt und endet am Absatzmarkt bzw. beim Kunden. Die Kundennähe ist ein wichtiger strategischer Erfolgsfaktor moderner Logistikkonzepte;⁹²
- die Flexibilität als Kriterium für die Beherrschung des Prozesses, insbesondere die Schnelligkeit der Beseitigung aufgetretener Fehler, die Anzahl Störungen, die das Gesamtsystem destabilisieren und die Frist der spätesten Änderungsmöglichkeit eines Auftrages durch den Kunden und
- die Effizienz im Sinne einer Systemwirtschaftlichkeit bezogen auf das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk.

Die Logistik erfährt hierzu eine qualitative Erweiterung um führungsbezogene Tätigkeiten⁹³ und übernimmt im Rahmen eines umfassenden Komplexitätsmanagements die zentrale Funktion der Integration der durch Segmentierung entstandenen teilautonomen Materialflußabschnitte. Die Aufgabe eines logistikorientierten Produktionsmanagements ist eine sorgfältige Abstimmung des Fließgleichgewichts in den Elementen des Materialflußsystems, um die Durchlaufzeiten und ihre Streuungen zu verringern.⁹⁴

⁹⁰ CLM-Logistics Definition 2000

⁹¹ Vgl. Kummer, S. 1999a, S. 34 ff. Die von Kummer angeführten Kriterien können als Gestaltungsrichtlinien für ein effizientes und effektives Komplexitätsmanagement angesehen werden.

⁹² Vgl. Kummer, S. 1999b, S. 46

⁹³ Vgl. Weber, J. / Kummer, S. 1998, S. 22

⁹⁴ Vgl. Knolmeyer, G. 1987, S. 62

Das Produktionssystem befindet sich in einem Fließgleichgewicht, solange ein Gleichgewicht zwischen der Transformationsrelation und der von außen einwirkenden Strömungsgröße besteht. Dieses ist dann der Fall, wenn der freigegebene Auftragsbestand zu Beginn einer Planperiode dem bearbeiteten Auftragsbestand an deren Ende entspricht, so daß sich der Zugangsverlauf und Abgangsverlauf in einem Gleichgewicht befinden. Das Fließgleichgewicht ist eine Voraussetzung dafür, daß sich in den Bereichen keine Bestände bilden, die zu einer Erhöhung des Wartezeitanteils an der Gesamtdurchlaufzeit und zu Streuungen der Durchlaufzeiten führen.

2.4 Anforderungen an ein Entscheidungsunterstützungssystem

Die Anforderungen an ein kybernetisches Informationssystem sind die Prozeßabbildung, Prozeßkontrolle und die Stellgrößenermittlung auf allen Ebenen der Lenkungshierarchie. Aufgrund der Materialflußkomplexität und des stochastischen Charakters des Produktionsprozesses ist eine analytische Beschreibung aller Ursache-Wirkungszusammenhänge des Produktionssystems nicht möglich.

Im Rahmen der flußorientierten Lenkung des Produktionsprozesses sind an eine EDV-Unterstützung folgende Anforderungen zu stellen:

- die Möglichkeit einer dynamischen Betrachtung des Verhaltens des Produktionssystems mit dem Ziel, die Wirkung mehrerer Entscheidungsalternativen bezogen auf zukünftige Zustände der permanenten und temporären Elemente ex ante transparent zu gestalten,
- das Aufzeigen von Wirkungszusammenhängen bezogen auf die Sach- und Wertziele des Unternehmens, insbesondere der logistischen Serviceleistung an der Schnittstelle Produktionssystem-Kunde mit dem Ziel der Auswahl der Alternative mit der größtmöglichen Zielunterstützung,
- Lieferung realistischer Zielvorgaben für die nachgelagerte Lenkungsebene und damit verbunden die Reduzierung der Ungewißheit (Entropie) der Entscheidungsträger.

Eine wirksame Unterstützung des Planungsprozesses erfordert insbesondere die Bereitstellung des richtigen Umfangs an Informationen durch die Filterung und Verdichtung von Einzelinformationen. Hierzu sind insbesondere Kennzahlen geeignet.

2.4.1 Die Datenkomponente

Die im Rahmen einer hierarchisch strukturierten Produktionslenkung für die Entscheidung relevanten Daten sind von der Lenkungsebene abhängig, auf der das Entscheidungsunterstützungssystem eingesetzt wird.⁹⁵ In der folgenden *Abbildung 12* sollen diese entscheidungsrelevanten Daten für die Lenkungsebenen Programmplanung, Produktionslenkung und Produktionsbereich kurz skizziert werden.

⁹⁵ Vgl. ausführlich Westphal, J. 1996, S. 26 ff.

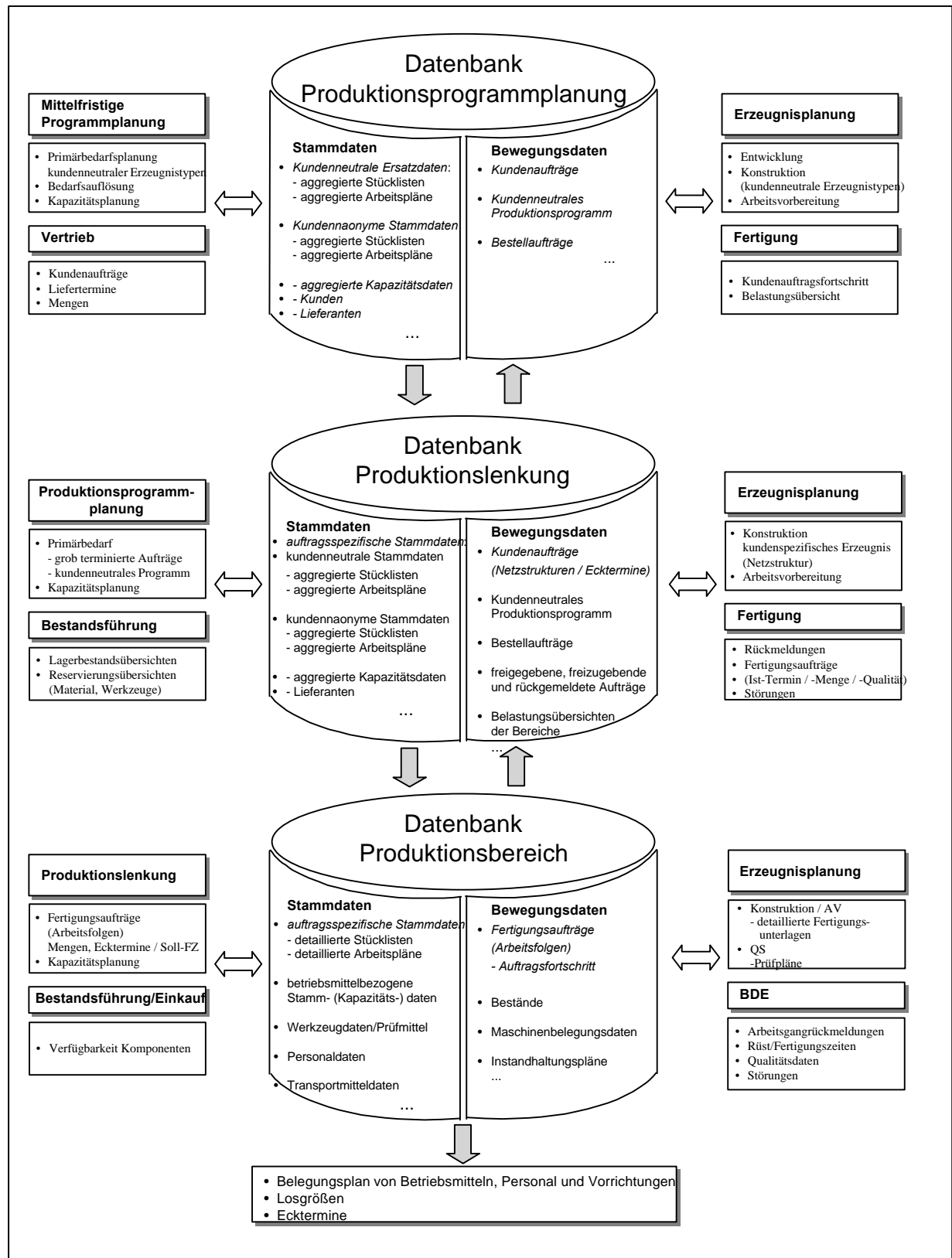


Abbildung 12: Relevante Planungsdaten auf den Lenkungsebenen

3 Handhabung der Materialfluß- und der Lenkungscomplexität

Wie die *Abbildung 13* zeigt, vollzieht sich die Handhabung der Complexität jeweils in zwei interdependenten Phasen: durch die Gestaltung der Struktur wird die Complexität verringert,

während die Schaffung eines Gleichgewichtes zwischen der Komplexität und der Varietät, mit der auf diese reagieren kann, auf die zielgerichtete Beeinflussung des Verhaltens der Teilsysteme gerichtet ist.

Dieses gilt sowohl für die Gestaltung des Materialflußsystems und die Eigenschaften der Produktionsbereiche als auch für die organisatorische Gestaltung des Lenkungssystems und die Koordination des Materialflusses durch das Netzwerk. Die Methoden zur Handhabung der Komplexität sind gegliedert in die horizontale Differenzierung und Integration mit dem Ziel der Handhabung der Komplexität im Materialflußsystem und die vertikale Differenzierung und Integration, mit der die Handhabung der Planungskomplexität angestrebt wird (Abbildung 14).

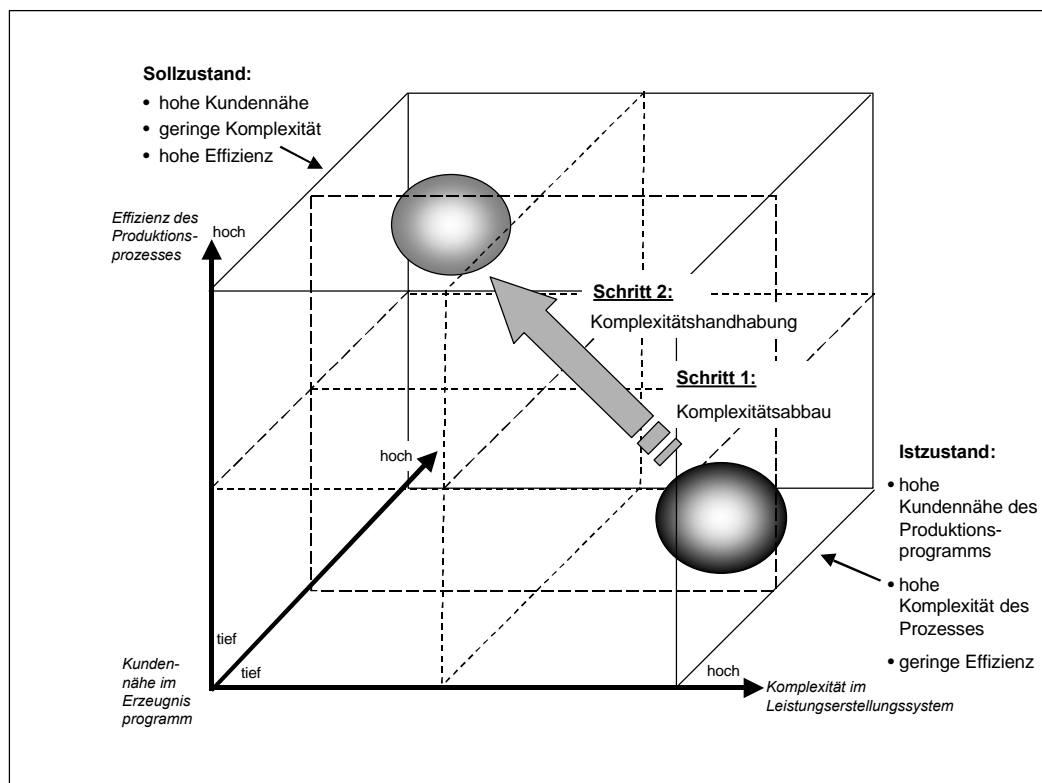


Abbildung 13: Schritte zur Handhabung der Komplexität

Durch die Strukturierung des Produktionssystems wird die Grundlage für die Gestaltung des Lenkungssystems und die eingesetzten Koordinationsmechanismen geschaffen.

3.1 Einflußfaktoren auf die Komplexität des Produktionsprozesses

Als ursächlich für die interne Systemkomplexität des Produktionssystems kann die steigende Umweltkomplexität angesehen werden. Die marktinduzierten Komplexitätstreiber sind eine Folge der Globalisierung und dem Wandel der Absatzmärkte und bewirken eine steigende Heterogenität der unternehmensinternen Prozesse.

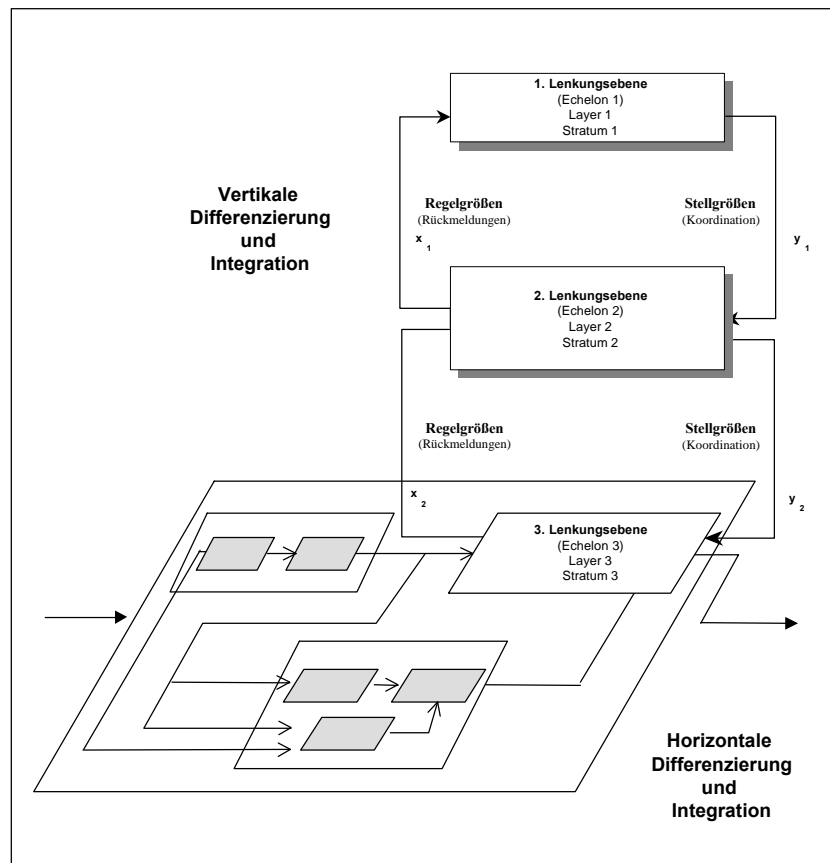


Abbildung 14: Horizontale und vertikale Differenzierung und Integration

Da in Bezug auf die Komplexität keine standardisierte Meßgröße existiert besteht lediglich die Möglichkeit, die Komplexität den zugrundeliegenden Ursachen zuzuordnen. Hierfür erscheint ein systemtheoretischer Ansatz auf der Basis betriebstypologischer Merkmale geeignet. Mit Hilfe der typologischen Merkmalsausprägungen können im Rahmen einer prozeßorientierten Analyse qualitative und quantitative Einflußgrößen auf die Komplexität der unternehmensinternen Prozesse herausgearbeitet werden. Diese sind gleichzeitig Ansatzpunkte für die Verringerung der zu handhabenden Komplexität.

Für die Analyse der Einflußfaktoren auf die im Rahmen der Produktionslogistik zu handhabende Komplexität werden nachfolgend drei Systemsichten definiert.

Die Komplexität der Produktionsprogrammplanung⁹⁶ (*1. Systemsicht*) beschreibt das Ausmaß der sich aus der Kundennähe im Leistungsprogramm gegebenen Komplexität während auf der Ebene der Produktionslenkung (*2. Systemsicht*) diejenigen Merkmale im Mittelpunkt stehen, die für die logistische Koordination an den Schnittstellen der Fertigungsabschnitte relevant sind. Aus den Ausprägungen lassen sich Rückschlüsse auf die Anforderungen an den Koordinationsumfang, die Koordinationsintensität und die Koordinationspräzision ziehen.

⁹⁶ Die Aufgabe der Programmplanung ist es, die Machbarkeit eines Produktionsprogramms mit den vorhandenen Ressourcen sicherzustellen.

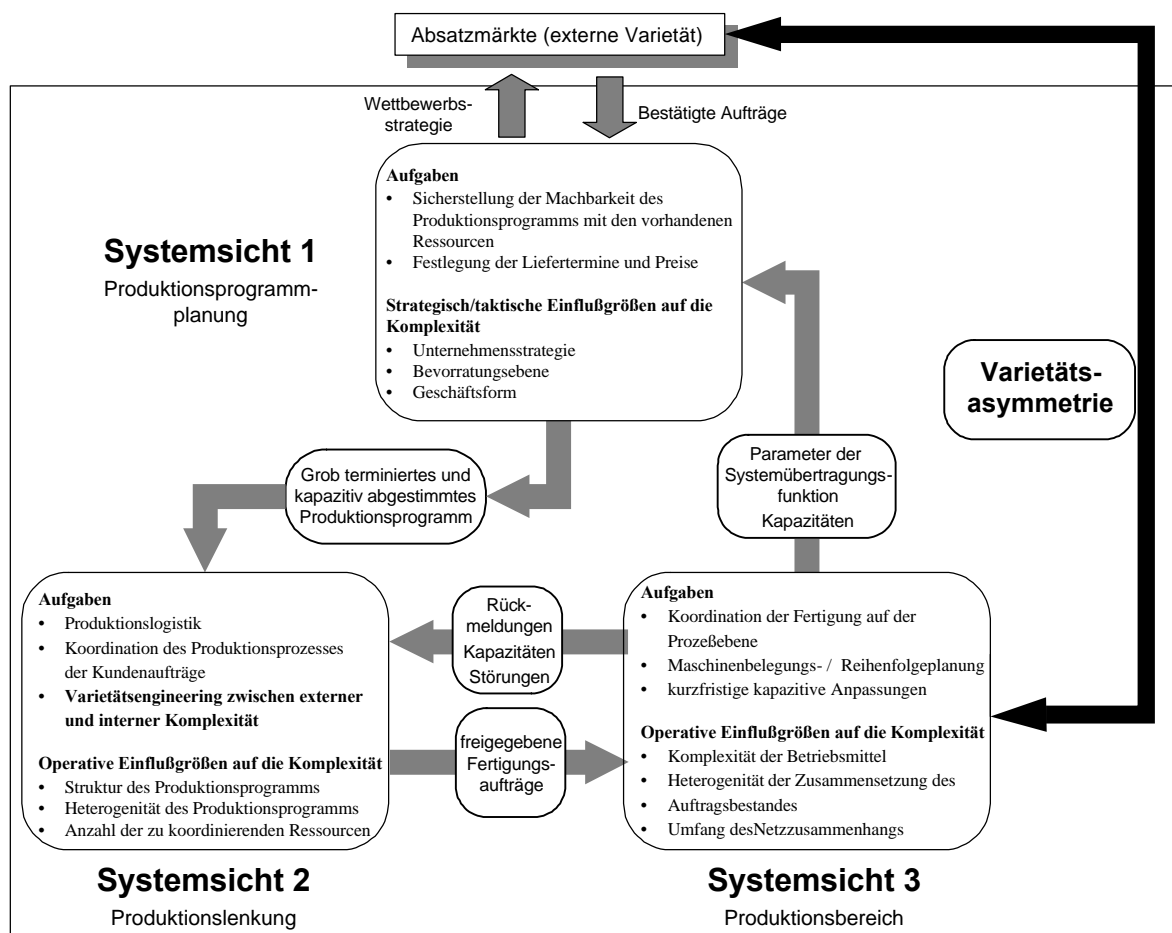


Abbildung 15: Die Systemsichten

Auf der dritten Betrachtungsebene werden die Merkmale, die die Komplexität der Produktionsdurchführungsplanung in den Bereichen bestimmen, herausgearbeitet (3. Systemsicht).

Die Komplexität des Produktionsprogramms im Sinne des Ausmaßes an wahrgenommener Marktkomplexität determiniert in entscheidendem Umfang die Komplexität des Produktionsprozesses.⁹⁷ Die Komplexität der logistischen Koordination ist um so höher, je weiter sich das Produktionsprogramm dem Typ einer kundenindividuellen Auftragsproduktion annähert. Ein Grund für die Dynamik liegt in der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung des Produktionsprogramms in Abhängigkeit der eingegangenen Kundenaufträge. In vielen Fällen sind in den Unternehmen ein breites Erzeugnisspektrum, kleine Auftragslosgrößen und eine hohe Volatilität der Zusammensetzung des Produktionsprogramms anzutreffen.

Die Gestaltung des Erzeugnisspektrums spielt für die Lenkung des Produktionsprozesses eine zentrale Rolle. Je ausgeprägter die Strukturtiefe und –breite sind, desto umfangreicher ist der zu koordinierende Netzzusammenhang und desto komplexer ist die Planung und Steuerung der Leistungserstellung.

⁹⁷ Vgl. Bliss, C. 2000, S. 10

Die Fertigungsablaufart und die Fertigungsart bestimmen die Komplexität der Koordinationsaufgabe. Je mehr sich die Fertigungsablaufart dem Verrichtungsprinzip nähert, desto komplexer werden die logistischen Prozesse.

Die Herausforderung für das Unternehmen besteht darin, das richtige Maß an Produktkomplexität am Markt zu plazieren, um den Kundennutzen mit einer handhabbaren unternehmensinternen Komplexität zu realisieren:⁹⁸ „*In order to optimize variety, a company must assess the level of variety at which consumers still find its offering attractive and the level of complexity that will keep the company's costs low.*“⁹⁹ Dabei legt die Gestaltung des am Markt angebotenen Erzeugnisspektrums die Grundlage für die Gestaltung der internen Prozesse.

BOUTELLIER u.a. sehen im Variantenmanagement eine Kernkompetenz des Unternehmens.¹⁰⁰ Durch ein durchgängiges Variantenmanagement wird angestrebt, die vom Kunden wahrgenommene hohe Leistungsdifferenzierung mit einer vergleichsweise geringen hierdurch induzierten internen Komplexität im Leistungserstellungsprozeß zu realisieren.¹⁰¹

Ein wichtiger Komplexitätstreiber ist in diesem Zusammenhang die Produktstruktur. Durch die Standardisierung der Baugruppen und Einzelteile und eine modellreihenübergreifende Verwendung von Gleichteilen kann die Teilevielfalt und damit die Komplexität verringert werden.¹⁰² Baukastensysteme können zu einer Vielzahl von kundenindividuellen Problemlösungen konfiguriert werden.¹⁰³ Ein weiterer Ansatzpunkt zur Verringerung der Komplexität liegt in der Verlagerung des Variantenbestimmungspunktes und der Bevorratung zum Ende der Wertschöpfungskette und einer Verringerung der Fertigungstiefe durch die Verwendung von auf dem Beschaffungsmarkt erhältlichen Komponenten.¹⁰⁴

3.2 Die Handhabung der Materialflußkomplexität

3.2.1 Reduzierung der Materialflußkomplexität durch Modularisierung

Die die logistischen Prozesse im Produktionssystem bestimmenden materiellen Transformationsprozesse bilden den ersten Ansatzpunkt für die ganzheitliche Optimierung des Materialflußsystems.

Die wachsende Anzahl von Kundenaufträgen mit abnehmenden Auftragslosgrößen erhöht tendenziell sich die Anzahl der Wirkungsbeziehungen. Die Modularisierung des Materialflußsystems führt zu einer Internalisierung von Materialflußbeziehungen und damit zu einer

⁹⁸ Vgl. Eversheim, W. u.a. 1998, S. 31

⁹⁹ Vgl. Child, P. u.a. 1991, S. 74

¹⁰⁰ Vgl. Boutellier, R. u.a. 1997, S. 57

¹⁰¹ Vgl. Schuh, G. u.a. 1998, S. 81

¹⁰² Vgl. Eversheim, W. u.a. 1998, S. 33 ff.; Wildemann, H. 1999, S. 34 ff.

¹⁰³ Vgl. Boutellier, R. u.a. 1997, S. 58; Wildemann, H. 1999, S. 36

¹⁰⁴ Vgl. Wildemann, H. 1998b, S. 56; Bliss, C. 2000, S. 45 ff.

Prozeßvereinfachung durch die Verringerung der Anzahl der Schnittstellen im Materialfluß, die zentral koordiniert werden muß. Die Bedeutung der Modularisierung für die logistische Koordination beruht darauf, daß neben der Struktur des Materialflußsystems die Rahmenbedingungen für die Gestaltung des Koordinationssystems und den Koordinationsprozeß in ihren Grundzügen festgelegt werden. Aus der Perspektive der Lenkung des Produktionsprozesses erfolgt eine Reduzierung der Vielfalt der Elemente und Relationen des Systems dadurch, daß die Produktionsbereiche als Black Box aufgefaßt und durch Systemübergangsfunktionen beschrieben werden können. Verglichen mit einer funktionalen Organisation werden Kommunikationsschnittstellen abgebaut und es wird zusätzliche Problemlösungskompetenz und -kapazität geschaffen.

Die Aufteilung des Produktionssystems in einzelne Produktionsbereiche führt insbesondere im Vergleich mit einer traditionellen Werkstattfertigung zu einem erheblich vereinfachten Materialfluß.¹⁰⁵

Ein weiterer Vorteil einer Segmentierung der Fertigung ist, daß der Produktionsprozeß in einem diskreten Simulationsmodell abgebildet werden kann, mit dem das Verhalten des Gesamtsystems antizipiert wird. Die Aggregation von Perioden zu Systemtakten führt zu einer Vereinfachung der Abbildung des Zeitverhaltens.¹⁰⁶

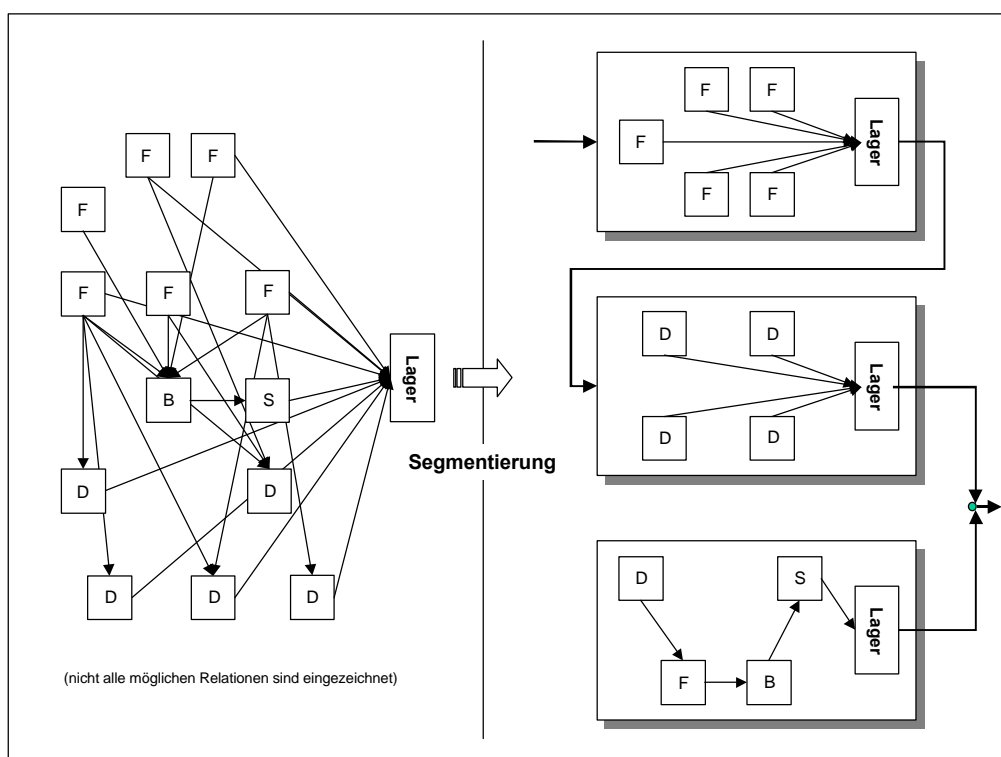


Abbildung 16: Reduzierung der Materialflußkomplexität durch Modularisierung

Durch die Beschränkung der zeitlichen Betrachtung des Produktionssystems auf die Anfangs- bzw. Endzeitpunkte der Systemtakte können die Systemprozesse als Folgen von Zuständen

¹⁰⁵ Vgl. Schumacher, S. 1994, S. 96

¹⁰⁶ Vgl. Leisten, R. 1996, S. 34

bzw. Zustandsübergängen beschrieben werden. Die Produktionsbereiche sind dazu so zu bilden, daß sie ein charakteristisches kapazitives Verhalten aufweisen, aus dem auf die bearbeiteten Aufträge rückgeschlossen werden kann.

Die zeitliche Aggregation tritt in Verbindung mit der sachlichen Aggregation der Arbeitsgänge zu Arbeitsfolgen auf, deren Bearbeitung von den Bereichen autonom koordiniert wird.

3.2.2 Eigenschaften der Produktionsbereiche

Die durch die Segmentierung gegebene Systemstruktur gibt den Rahmen für die Gestaltung der Eigenschaften Autonomie, Autarkie und Varietät sowie die Kopplungen der Produktionsbereiche durch den Materialfluß vor.

Stabilität nach außen erfordert Variabilität nach innen. Die Flexibilisierung der Produktionsbereiche ist eine notwendige Voraussetzung für die Stabilisierung des Gesamtsystems. Nach Auffassung von *SCHÜPBACH* ist die aus der Flexibilisierung resultierende Stabilität als „Stabilität höherer Ordnung im Sinne eines dynamischen Fließgleichgewichtes zu sehen.“¹⁰⁷ Es geht darum, ein Fließgleichgewicht zwischen Stabilität und Flexibilität aufrecht zu erhalten.

Neben der erforderlichen Varietät müssen die Produktionsbereiche über die notwendigen Informationen und Instrumente für eine selbständige Planung, Steuerung und Kontrolle der Fertigungsprozesse verfügen.

3.2.3 Die Deckung des Varietätsbedarfs

Das Kernproblem der Komplexität ist ihre fehlende Meßbarkeit. *ADAM* begründet dieses damit, daß Komplexität grundsätzlich ein mehrdimensionales, hochgradig schlecht strukturiertes Problem sei, das durch eine Vielzahl von Bestimmungsfaktoren determiniert werde.¹⁰⁸ Dieses zeigt sich besonders deutlich bei der Planung der erforderlichen Varietät der Produktionsbereiche, bei der zusätzliche meßbare Kosten für die Qualifizierung des Personals, flexibel einsetzbare Betriebsmittel und Schlupf geringeren Koordinationskosten, einer höheren Transparenz des Produktionsprozesses, einer geringeren Planungsnervosität und einer besseren Plan- und Erreichbarkeit eines bestimmten Niveaus der Serviceleistung gegenüberstehen.

Im vorliegenden Fall wird die erforderliche Varietät zum einen durch die Selbstorganisation, die Komplexitätskompetenz, und zum anderen durch die zielgerichtete Planung der Ressourcen, des Komplexitätspotentials, geschaffen.

Eine wichtige Voraussetzung für die Selbstorganisation sind die Autonomie und Autarkie der Produktionsbereiche im Sinne ihrer weitgehenden Unabhängigkeit. Ein Gestaltungsziel besteht darin, das dispositive Potential zur Handhabung der Komplexität, die Koordinations-, Integrations- und die Schnittstellenkompetenz am Ort der erforderlichen Problemlösung zu

¹⁰⁷ Vgl. Schüpbach, H. 1994, S. 248

¹⁰⁸ Vgl. Adam, D. 1998, S. 31 ff.

bündeln. Nach einem Organisationsgrundsatz müssen sich Aufgabe, Kompetenz und Verantwortung entsprechen.¹⁰⁹ REIß/HÖGE sprechen in diesem Zusammenhang von einem Kongruenzprinzip, welches einen Fit zwischen Kompetenzspektrum, Funktionsspektrum und Verantwortung umfaßt.¹¹⁰

Die Zielvorgaben müssen den Bereichen soviel Spielraum lassen, daß sie der jeweiligen Situation angepaßte Handlungsalternativen entwickeln können, d.h. die Produktionslenkung beschränkt sich auf Rahmenvorgaben, die Freiheitsgrade für die Selbstorganisation in den Produktionsbereichen offen lassen.

Die Integration von planenden und ausführenden Tätigkeiten sowie indirekten Funktionen in den Bereichen führt zu einer ganzheitlichen, prozeßorientierten Aufgabenwahrnehmung und einem Abbau der organisatorischen Schnittstellen und bildet somit die Grundlage für eine logistikgerechte Gestaltung des Produktionssystems, die Übertragung des Kunden-Lieferanten-Prinzips auf die Produktionsbereiche und die Ergänzung der hierarchischen Koordination um die horizontale Koordination zweier benachbarter Produktionsbereiche.

Die lokalen, sich selbst steuernden Bereiche benötigen nur begrenzt DV-technische Unterstützung.¹¹¹ Sinnvoll erscheint der Einsatz von an die spezifischen Anforderungen angepaßten Systemen zur Entscheidungsunterstützung, z.B. von elektronischen Leitständen.

Neben der Komplexitätskompetenz, der Fähigkeit zur Selbstorganisation, wird das Gesetz der erforderlichen Varietät durch Flexibilität in Form von flexiblen Betriebsmitteln und Reservekapazitäten erfüllt.

Flexibilität beschreibt damit allgemein das Vorhandensein von Handlungsalternativen und bedeutet die Fähigkeit, Flexibilität kann auch als Eigenschaft aufgefaßt werden, deren Wesensmerkmal die Existenz von Freiheitsgraden, ausmacht. Sie ist stets unter dem Blickwinkel eines dynamischen Gleichgewichtes zu sehen. Gerade diesem Zeitaspekt der betrieblichen Flexibilität kommt im Zusammenhang mit der Handhabung der Komplexität eine zentrale Bedeutung zu.

3.2.4 Das Produktionssystem als multistabiles System

Die Verringerung der Bestände, die bisher im Rahmen der Produktionsplanung zur Kompensation von Störungen eingesetzt wurden, und die Diskontinuität der betrieblichen Umweltbedingungen erfordern dynamische Organisationsstrukturen.¹¹² Das Produktionssystem muß über die Eigenschaften der Ultra- und der Multistabilität verfügen.

¹⁰⁹ Vgl. Hill, W. u.a. 1994, S. 124.

¹¹⁰ Vgl. Reiß, M. / Höge, R. 1993, S. 219; Höge, R. 1995, S. 206

¹¹¹ Vgl. Pawellek, G./Schirrmann, A. 1999, S. 255

¹¹² Vgl. Frese, E. 1992, S. 185 und die dort zitierte Literatur

Ultrastabile Systeme setzen sich aus einer Vielzahl von Regelkreisen zusammen, so daß selbständig ein stabiler Zustand erreicht werden kann.¹¹³ Das Problem ultrastabiler Systeme besteht jedoch darin, daß sie eine Vollstruktur besitzen, d.h. alle Teile des Systems miteinander verbunden sind. In einem ultrastabilen Produktionssystem, welches häufig Störungen unterliegt, würde eine Anpassungsnotwendigkeit in einem Bereich zu einer Destabilisierung des Gesamtsystems führen und zwangsläufig eine vollkommene Neuplanung der Abläufe mit der Folge einer hohen Planungsnervosität erforderlich machen.

Bei hochkomplexen, arbeitsteilig organisierten Systemen wie dem Produktionssystem ist daher die Möglichkeit einer gezielten Anpassung des Gleichgewichts in jedem Produktionsbereich anzustreben. Ein multistabiles System besitzt diese Fähigkeit zu partiellen Anpassungen, über die in den Bereichen ein Fließgleichgewicht des gesamten Systems erreicht wird.¹¹⁴

Ist das Produktionssystem bei Nichtbeachtung des Gesetzes der erforderlichen Varietät lediglich ultrastabil, so ist dieses bei Erfüllung des Varietätstheorems multistabil, d.h. die Produktionsbereiche sind nur noch schwach interdependent. Der Vorteil eines multistabilen Produktionssystems ist darin zu sehen, daß nur bestimmte Störungen neue Stellgrößen für das gesamte System erfordern während auf die übrigen in den Bereichen oder durch gezielte Änderung der Parameter für einen Bereich reagiert werden kann. Die Varietät in den Produktionsbereichen bewirkt eine Verringerung der Varietät der Ergebniszustände und entlastet durch die geringere Koordinationskomplexität die übergeordnete Lenkungebene.

3.3 Handhabung der Lenkungscomplexität

Die Lenkung des Produktionsprozesses vollzieht sich vor dem Spannungsfeld von Integration und Differenzierung bzw. von hierarchischer Führung und der lokalen Autonomie der Produktionsbereiche.¹¹⁵

Die hierarchische Organisations- und Entscheidungsstruktur des Leistungssystems, d.h. die Existenz mindestens einer Lenkungebene, entsteht aus der Notwendigkeit der Integration der durch die ablauforganisatorische Strukturierung entstandenen Produktionsbereiche in Bezug auf die Ziele des Gesamtsystems. Ein weiterer Grund für eine hierarchisch strukturierte Aufbauorganisation liegt in den unterschiedlich langen Planungshorizonten: *„(This) hierarchy arises from differences in the lead times needed to execute decisions, the planning horizons for analysing and evaluating choices, and the magnitude of the costs affected by the decisions.“*¹¹⁶

Notwendig ist eine Abkehr vom traditionellen mechanistischen Hierarchieverständnis.¹¹⁷

¹¹³ Vgl. Patzak, S. 62. Zum ultrastabilen System Vgl. Krieg, W. 1971, S. 82 ff.

¹¹⁴ Vgl. Krieg, W. 1971, S. 88

¹¹⁵ Vgl. Liebig, O. 1997, S. 82.

¹¹⁶ Vgl. Meal, H. C. 1984, S. 106

¹¹⁷ Vgl. Liebig, O. 1997, S. 150 ff.

Die vom mechanistisch-hierarchischen Führungsmodell angestrebte Reduzierung der komplexen Realität innerhalb und außerhalb des Unternehmens auf einfache, lineare, monokausale Zusammenhänge steht im Widerspruch zur angestrebten Selbstorganisation in den Produktionsbereichen, da die Selbstorganisationsprozesse und die Eigenständigkeit der Bereiche durch eine zentralistische Fremdplanung, -steuerung und -kontrolle unterdrückt würden.¹¹⁸

Die neue Rolle der Führung innerhalb eines selbstorganisierenden Systems besteht darin, die Voraussetzungen für Selbstorganisation zu schaffen.¹¹⁹

3.3.1 Differenzierung durch Hierarchisierung

Die systembildende Koordination beinhaltet die Schaffung der Gebilde- und Prozeßstruktur, welche nachfolgend zur Abstimmung der einzelnen Prozesse beiträgt. Die systemkoppelnde Koordination umfaßt die Abstimmungsprozesse in dem durch die systembildende Koordination gegebenen Systemgefüge.

Die zentrale Aufgabe bei der Gestaltung eines leistungsfähigen Planungssystems ist daher, Prinzipien zu entwickeln, die eine nachhaltige Vereinfachung der bestehenden Interdependenzstruktur ermöglichen und dennoch eine möglichst vollkommene Realisierung der Unternehmensziele garantieren.¹²⁰

Das Ziel der Gestaltung besteht in einer Zerlegung des Planungsproblems entsprechend den von *MEAL* für hierarchische Produktionsplanungssysteme aufgestellten Leitlinien der Einfachheit, der Unabhängigkeit und des Organisationsbezugs der Entscheidungen:

- „Keep decisions simple. Use aggregate data whenever possible and limit the numbers of variables to be considered simultaneously.“,
- „Seperate decisions if possible. Look for decisions that have little, if any, effect on each other.“ und
- „Match decision to the organization.“¹²¹

3.3.2 Das Mehrebenenmodell von Mesarovic, Tacko und Takahara

Für Mehrebenen –Regelungsmodelle haben *MESAROVIC* u.a. mit dem Multi-Level-Konzept eine umfassende Theorie entwickelt, welche die Planungs- und Entscheidungsaufgaben in komplexen Systemen explizit betrachtet.¹²²

¹¹⁸ Vgl. Zehender, K. 1998, S. 82 f.

¹¹⁹ Vgl. Zehender, K. S. 94

¹²⁰ Vgl. Frese, E. 1995, S. 99

¹²¹ Vgl. Meal, H.C. 1984, S. 107

¹²² Zum folgenden vgl. Mesarovic, M.D. u.a. 1970

MESAROVIC u.a. gehen davon aus, daß in komplexen Organisationen eine Differenzierung in Form einer hierarchischen Strukturierung erforderlich ist, und daß bei dieser mehrere Hierarchien nebeneinander vorliegen. Sie unterscheiden die organisatorische Stellung (organisation), den Umfang der Entscheidungsaufgabe (decision complexity) und die Detailliertheit des Wissens über ein Teilsystem (abstraction). Die *levels of organization* bezeichnen sie als *echolons*, die *levels of decision complexity* als *layers* und die *levels of abstraction* als *strata*.¹²³

Aus der von *MESAROVIC* u.a. entwickelten Theorie der hierarchischen Systeme folgt, daß komplexe Systeme in der Regel mehrstufig aufgebaut sind. Das Gestaltungspotential liegt somit in der Hierarchisierung des Lenkungssystems, d.h. in der Aufteilung der regulativen Aufgaben auf die Lenkungsebenen und deren Verknüpfung. *STADTLER* bezeichnet es als wesentlich, daß eine eindeutige Zuordnung der Planungsebenen zu den Entscheidungsebenen der betrieblichen Organisation erfolgt mit dem Ziel, das Erfahrungswissen der Entscheidungsträger auf den einzelnen Ebenen mit einzubeziehen und um die Akzeptanz des Systems zu erhöhen.¹²⁴

Der Vorteil hierarchischer Planungssysteme liegt darin, daß hierarchisch höhere Planungsebenen imstande sind, hierarchisch tieferliegende wenigstens teilweise von Störungen abzusichern, vor allem dann, wenn diese ihren Ursprung außerhalb des betrachteten Systems haben.¹²⁵

Zur zielgerichteten Lenkung des Produktionsprozesses sind mindestens zwei Entscheidungsebenen, welche die bereichsinterne Lenkung und die Koordination der Bereiche an den Schnittstellen übernehmen, notwendig.

Es stellt sich weiterhin die Frage, ob zwei Hierarchieebenen zur Handhabung der Komplexität und zur Lenkung des Produktionsprozesses ausreichen, oder ob zur Lenkung des Produktionsprozesses ein aus drei Hierarchieebenen bestehendes Regelkreissystem geeigneter wäre. Ansatzpunkte für diese Diskussion sind die Eigenschaft des offenen Systems, die unterschiedlichen Zeithorizonte und Detaillierungsgrade der Entscheidungen sowie die Unsicherheit der Zusammensetzung des Produktionsprogramms.

Die Existenz nur einer Koordinationsebene würde bedeuten, daß diese Ebene mit einer doppelten Komplexität konfrontiert würde:

- einerseits mit der externen, durch den Wandel der Absatzmärkte zunehmenden, Komplexität der Unternehmensumwelt und
- andererseits mit der Komplexität des Produktionssystems.

¹²³ Vgl. Fischer, Th. 1993, S. 94 ff.

¹²⁴ Vgl. Stadler, H. 1996, Sp. 632

¹²⁵ Vgl. Haberfellner, R. 1975, S. 173

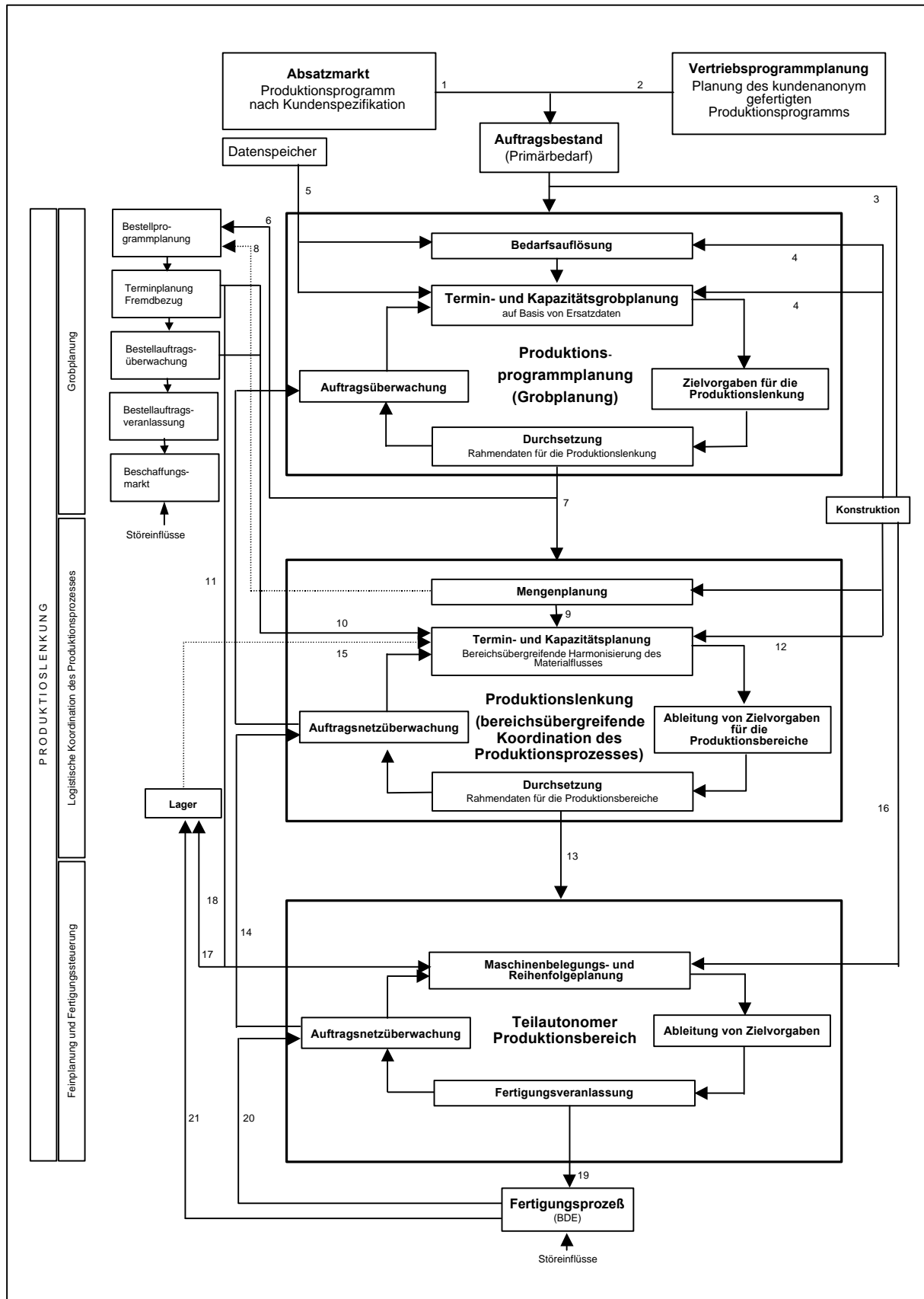


Abbildung 17: Datenflußplan des entwickelten Gestaltungsansatzes

L E G E N D E

1. Kundenaufträge (Erzeugnisse, Mengen, Termine)
2. Vertriebsaufträge (Bedarf an Standarderzeugnissen und -komponenten)
3. Pflichtenhefte (für kundenspezifische Erzeugnisse sowie Erzeugnisse mit kundenspezifischer Anpassungskonstruktion)
4. Zuordnung der Kundenaufträge zu Kundenauftragstypen und Fertigungsabschnittstypen sowie Ermittlung der Fremdbezugskomponenten
5. Erzeugnistypen und Fertigungsabschnittstypen für Standarderzeugnisse und Standardkomponenten
6. Beschaffungsaufträge
7. Rahmendaten für die Koordination der Produktion
(Produktionsprogramm für Erzeugnisse, grob terminiert, notwendige Kapazitätsanpassung)
8. Aktualisierung des Bestellprogramms (Bereitstellungstermine Fremdbezug)
9. Bedarf Eigenfertigung
10. Rückmeldungen Meldung des aktuellen Zustands des Produktionssystems
11. Termine für die Verfügbarkeit der Fremdbezugskomponenten
(insbesondere Abweichungen)
12. fertigungsabschnittsbezogene "schlanke" Arbeitspläne und Stücklisten
13. Rahmendaten für die Produktionsbereiche (bereichsbezogener Auftragspool)
14. Fertigungsfortschritt
- Rückmeldung auf Fertigungsabschnittsebene; Störungsmeldungen
- Aktueller Zustand des Produktionssystems
15. Verfügbarer Bestand an kundenanonym gefertigten Teilen und Baugruppen
16. Bereichsbezogene Stücklisten und Arbeitspläne
17. Verfügbarer Lagerbestand
18. Verfügbarkeit der fremdbezogenen Komponenten
19. Auszuführende Arbeitsgänge laut Maschinenbelegungsplanung bzw. Maßnahmen als Reaktionen auf Störungen
20. Rückmeldungen
- Fertigungsfortschritt auf Arbeitsgangebene
- Störungsmeldungen
21. Lagerzugänge für Standardkomponenten und -erzeugnisse

Abbildung 18: Legende zum Datenflußplan aus Abbildung 17.

Dieses spricht dafür, die Aufgaben der Produktionsprogrammplanung und der Durchführungsplanung bzw. Produktionslenkung auf zwei Entscheidungsebenen zu verteilen, wobei die Grenzen zwischen den Lenkungsebenen fließend sind, da die Programmplanung und die Durchführungsplanung prinzipiell auf allen drei Planungsebenen angesiedelt sind. (Abbildung

17) Die Verteilung der Gewichte der Produktionsprogrammplanung und der Durchführungsplanung hängt von der Führungsebene ab, auf der die Planung vollzogen wird.

Produktionsprogrammplanung

Die Produktionsprogrammplanung erfolgt an der Schnittstelle zu den Absatzmärkten. Aufgaben der Programmplanung sind die Ermittlung eines realistischen Liefertermins und die grobe Entscheidung über kapazitive Maßnahmen, die mit der Fertigung eines bestimmten Absatzprogramms verbunden sind. Indem die Zusage der Liefertermine für Kundenaufträge - ausgehend vom aktuellen Zustand des Produktionssystems - belastungsorientiert erfolgt, ist eine grobe Planung des Fließgleichgewichtes durch Abstimmung der durch den Absatzplan gegebenen Materialflußkomplexität mit der Varietät des Produktionssystems gewährleistet.

Produktionslenkung

Die Aufgaben der Produktionslenkung umfassen planerische, dispositive, ausführende und kontrollierende sowie Controlling-Tätigkeiten. Ausgehend von der Zielsetzung, ein definiertes Produktionsprogramm zu fertigen, hat die Lenkungsebene die Aufgabe der Sicherung der logistischen Abläufe an den Schnittstellen des Produktionsnetzwerkes durch die Planung des Fließgleichgewichtes. Durch die Delegation der Fertigungsverantwortung in die Bereiche umfaßt diese zentrale Koordinationsfunktion die Abstimmung des freigegebenen Auftragspools mit den verfügbaren Kapazitäten sowie das Störungsmanagement.

Produktionsbereich

Innerhalb der Freigabeperiode ist der Produktionsbereich für die Planung und Durchsetzung der Bearbeitung der Fertigungsaufträge verantwortlich. Nach erfolgreicher Verfügbarkeitsprüfung werden die Arbeitsgänge einzelnen Maschinen zur Bearbeitung zugeordnet. Der Leiter des Bereichs überwacht den Auftragsfortschritt und entscheidet über lokale Anpassungsmaßnahmen.

Mit der Aufgabenverteilung wird der Grundsatz verfolgt, daß keine Entscheidungen von einer Lenkungsebene gefällt werden soll, wenn diese von einer untergeordneten Lenkungsebene ebenso gut oder besser getroffen werden kann:¹²⁶ „*Decisions which must be made at the corporate level are centralized; those which can be made locally are delegated...*“¹²⁷ Mit anderen Worten: Nach dem Grundsatz „so dezentral wie möglich, so zentral wie nötig“ sind die Aufgaben daraufhin zu untersuchen, ob sie in dezentraler Form besser erbracht werden können. Jede Entscheidung soll von der untersten Ebene gefällt werden, die dafür noch über den notwendigen Überblick verfügt.¹²⁸

Eine Übersicht über die Planungs-, Durchsetzungs- und Kontrollaufgaben gibt *Abbildung 19*.

¹²⁶ Vgl. Hill, W. u.a. 1994, S. 229 und die dort zitierte Literatur

¹²⁷ Meal, H.-C. 1984, S. 105

¹²⁸ Vgl. Hill, W. u.a. 1994, S. 229

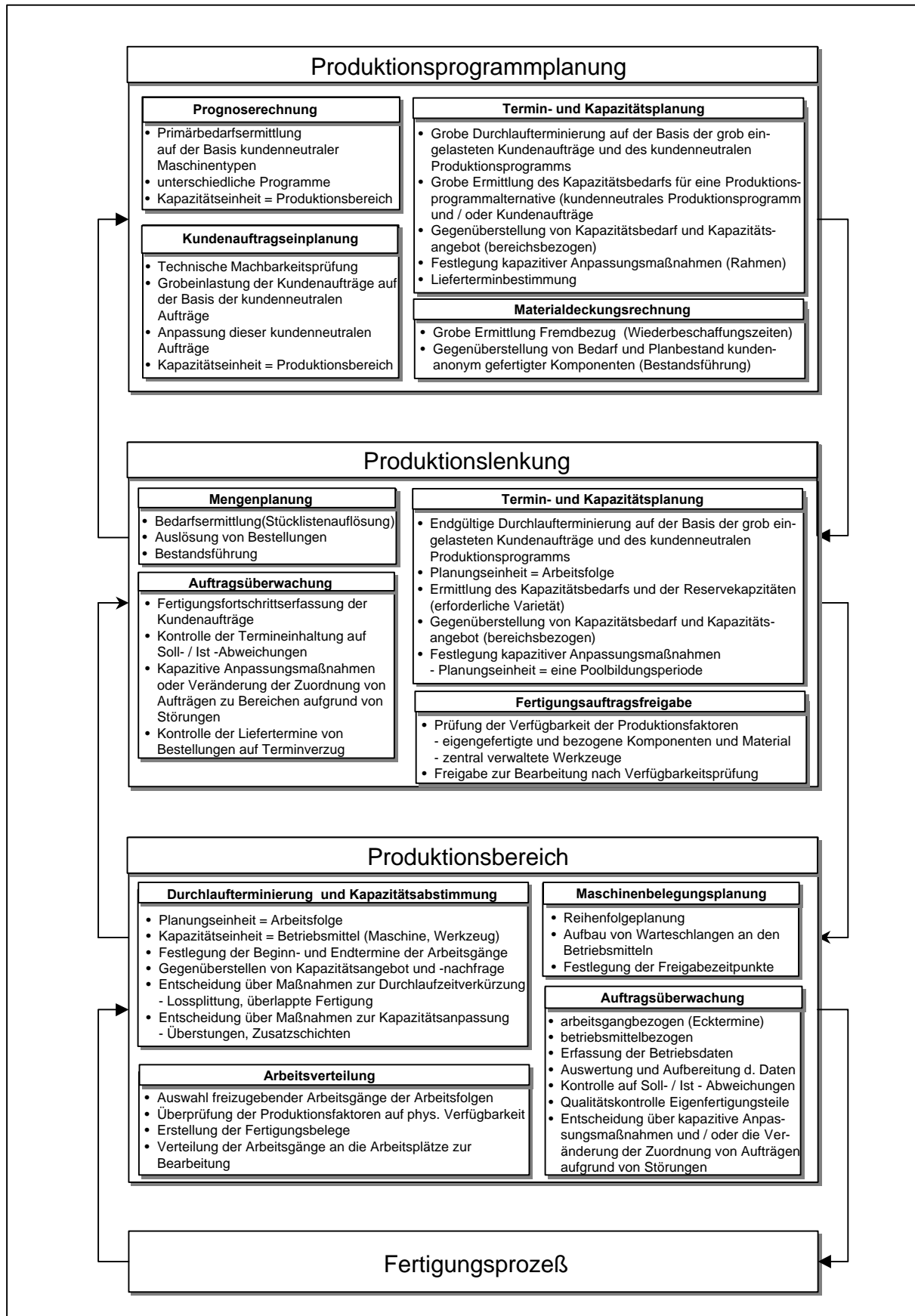


Abbildung 19: Regelungsaufgaben der Lenkungebenen

3.3.3 Die Rekursivitätsbeziehung zwischen den Lenkungsebenen

Das Prinzip der Rekursion besagt, daß in einer Konstellation von Systemen, die gemäß der allgemeinen Systemterminologie als Systeme, Subsysteme und Supersysteme bezeichnet werden können, jedes System, gleichgültig auf welcher Ebene es sich befindet, die gleiche Struktur aufweist.¹²⁹ Eine Gestaltung des Lenkungssystems in diesem Sinne hat den Vorteil, daß die Führungsprozesse immer ähnlich sind.¹³⁰

Eine rekursive Organisationsstruktur beinhaltet ein hohes Potential zur Handhabung der Lenkungscomplexität, wenn jede Rekursionsebene über eine ausreichende Lenkungsvarietät verfügt, um die relevanten Größen zu kontrollieren.¹³¹ Unabhängigkeit ist dabei ein wichtiges Merkmal des Rekursivitätsprinzips.

Das Prinzip der Rekursion wird zum einen top-down im Rahmen der Planungsiteration auf den Lenkungsebenen und zum anderen bottom-up im Rahmen des Störungsmanagements eingesetzt. Aufgrund der rekursiven Beziehungen zwischen den Lenkungsebenen ist es möglich, auf allen Systemebenen die selben Denkweisen, Methoden, Techniken oder Programme anzuwenden. Aufgabe der Produktionslenkung als nächsthöherer Rekursionsebene ist es, die Autonomie der Produktionsbereiche zu garantieren.

3.3.4 Unabhängigkeit

Zielvorgaben stellen als Führungsinstrumente sowohl als Stellgrößen- als auch als Regelgrößen das zentrale Koordinationsinstrument dar.¹³²

Das Ziel der Koordination besteht darin, daß die Führungsinformationen der übergeordneten Ebene den Entscheidungsträgern substantielle Entscheidungsfreiheit in wesentlichen Details ihrer eigenen Planung und Kontrolle lassen, so daß möglichst wenige Rückkopplungen von der untergeordneten zur übergeordneten Lenkungsebene zu berücksichtigen sind. Sie dürfen daher nur die im Interesse des Gesamtsystems notwendigen Restriktionen umfassen, da die zielorientierte Führung den Handlungsspielraum der Bereiche nicht einengen darf, um so mehr, da auf den zentralen Planungsebenen die Details des Materialflusses, die sich aus der dezentralen Durchführungsplanung ergeben, nicht bekannt sind.

Der zentrale Koordinationsaufwand wird durch die Einplanung von Schlupf reduziert.¹³³ Je größer der Schlupf und damit die interne Varietät ist, über desto mehr Freiheitsgrade verfügen die Produktionsbereiche, um die Stabilität ihrer Ausgangsvariablen aufrechtzuerhalten. Bei der Planung des Umfangs des notwendigen Schlupfes sind jedoch die Meßprobleme der Va-

¹²⁹ Vgl. Malik, F. 1992, S. 99; Häfele, W. 1993, S. 125 f.; Schiemenz, B., 1997, S. 113.

¹³⁰ Vgl. Schiemenz, B. 1997, S. 117

¹³¹ Vgl. Probst, G.J.B. 1981, S. 216

¹³² Vgl. Ruhnau, J./Völker, S. 1996, S. 258 ff.

¹³³ Neben der Einführung von Schlupf können Toleranzgrenzen definiert werden, bis zu denen auf den Einsatz zentraler Koordinationsmaßnahmen verzichtet wird.

rietät zu berücksichtigen.¹³⁴ Es besteht das grundsätzliche Problem, Aussagen über den notwendigen Schlupf der Rekursionsebenen zu treffen.

3.3.5 Die horizontale Selbstabstimmung der Bereiche

Die Materialflußorientierung in der Produktionslogistik erfordert zusätzlich zu der hierarchischen Koordination des Materialflusses eine horizontale Selbstabstimmung der Produktionsbereiche zur Lösung von Problemen an den Prozeßschnittstellen. Erfolgt eine Regelung mit horizontaler Koordination, d.h. werden zusätzlich zu den vertikalen Regelkreisen horizontale Material- und Informationsflußregelkreise implementiert, dann kann der Abstimmungsbedarf zwischen zwei Produktionsbereichen teilweise direkt über horizontale Kooperation gedeckt werden.

Das Ziel der Ergänzung der hierarchischen Koordination durch eine horizontale Feinabstimmung der Interdependenzen der Produktionsbereiche besteht darin, bestehende Spielräume in den Kunden-Lieferanten-Beziehungen für eine Optimierung der Material- und Informationsflüsse zu nutzen. Dieses führt zu einer Entlastung der Lenkungebene von Koordinationsaufgaben.¹³⁵

3.3.6 Rollierende Planung

Die Planung als ein systematischer Prozeß der zielgerichteten Vorbereitung von Entscheidungen ist ein wichtiges Steuerungs- und Führungsinstrument und ein Kernstück des Führungssystems.¹³⁶ Ziel der Planung ist es, ein möglichst realistisches Bild der Abläufe im Produktionssystem zu erhalten. Die Planung des Produktionsprozesses ist ein dynamisches Planungsproblem, dessen offener Planungshorizont aus informationstechnischen Gründen beschränkt wird.¹³⁷

Der Planungsprozeß stellt aufgrund der vertikalen und zeitlichen Kopplungen einen interdependenten, rückgekoppelten, dynamischen Prozeß dar. Die Planungsebenen geben die Planungsergebnisse jeweils an die nachfolgende Rekursionsebene weiter. Unzulässige Zielvorgaben führen zu Planrevisionen auf den oberen Ebenen. Planung ist somit ein vielgestaltiger und vermaschter Prozeß, dessen Bewältigung eine sorgfältige sachliche und zeitliche Differenzierung voraussetzt.

Das Ziel der rollierenden Planung besteht darin, eine Aktualisierung der Plandaten jeweils zu Beginn eines neuen Systemtaktes vorzunehmen, zwischen den Planungszeitpunkten die Planungsnervosität jedoch zu begrenzen.

¹³⁴ Vgl. Probst, G.J.B. 1981, S. 160

¹³⁵ Ein Großteil der Störungen kann herausgefiltert und lokal auf dem Verhandlungsweg behoben werden. Vgl. Ferstl, O.K./Mannmeusel, T. 1995, S. 31

¹³⁶ Vgl. z.B. Fischer, Th 1993, S. 7

¹³⁷ Vgl. Adam, D. 1996, S. 19

3.3.7 Die Planung des Fließgleichgewichtes als zentrale Aufgabe der Logistik

Der permanente Wandel der Anforderungen der Absatzmärkte und die Offenheit des Produktionssystems gegenüber der Umwelt bedingen, daß die Stabilität des Produktionssystems als eine dynamische Größe aufzufassen ist.

Die Unabhängigkeit der Planungsebenen ist nur dann gewährleistet, wenn bei dynamischer Betrachtung ein Fließgleichgewicht im Produktionssystem vorliegt. Aufbauend auf der flußorientierten Gestaltung des Leistungssystems sind die Planung, Durchsetzung und Überwachung des Fließgleichgewichtes im Materialflußsystem die Aufgaben der Logistik als flußorientierte Führungsfunktion. Die fehlende Flexibilität der Bestände muß zukünftig durch die planerischen und lenkenden Maßnahmen der Produktionslogistik kompensiert werden.

Die Bedeutung der Planung als systematische Entscheidungsvorbereitung zur Bestimmung gewünschter künftiger Zustände des Logistiksystems erfährt gegenüber der bisherigen Sichtweise der Logistik eine weitere Aufwertung. Sie umfaßt alle Aktivitäten, die darauf ausgerichtet sind, die Ungewißheit über das Verhalten des Logistiksystems in der Zukunft zu reduzieren, Zielvorgaben zu entwickeln und Maßnahmen zur Zielerreichung zu bestimmen.¹³⁸

Bei der Lenkung des Produktionssystems steht somit mit der zielgerichteten Beeinflussung des Verhaltens des Produktionssystems die dynamische Perspektive der Systemtheorie im Vordergrund. Der Planungsprozeß zielt nicht auf die Erreichung, sondern auf die Aufrechterhaltung eines Fließgleichgewichtes zwischen Stabilität und Flexibilität des Produktionssystems ab.¹³⁹

Die Planung des Fließgleichgewichtes und die Festlegung der erforderlichen Varietät erfolgen dynamisch in Abhängigkeit des aktuellen Zustandes des Produktionsbereiches und der Zusammensetzung des Auftragsbestandes. Die Produktionslogistik betreibt somit ein kontinuierliches Varietätsengineering, um die Wahrscheinlichkeit der Zustände des Produktionssystems zu erhöhen, die den Zielen des Gesamtsystems entsprechen.

Dafür werden mehrere Koordinationsmechanismen eingesetzt:

- die Bildung einer, aus drei Lenkungsebenen bestehenden, hierarchisch strukturierten Regelkreisstruktur, wobei zwischen den Ebenen eine rekursive Beziehung besteht;
- eine weitgehende Unabhängigkeit der Lenkungsebenen;
- die Konzentration der Lenkungsebene auf die Lenkung der Produktionsbereiche über Zielvereinbarungen;
- die Selbstorganisation der Produktionsbereiche, verbunden mit Ergebnisverantwortung;
- die Möglichkeit einer horizontalen Koordination der Produktionsbereiche nach dem Verhandlungsprinzip.

¹³⁸ Vgl. Lochthowe, R. 1990, S. 43

¹³⁹ Vgl. Krieg, W. 1971, S. 59. Die Flexibilität ist somit stets unter dem Blickwinkel eines dynamischen Gleichgewichtes zu sehen.

Im Mittelpunkt stehen die Freiheitsgrade, die den Produktionsbereichen bei der autonomen Erfüllung der Zielvorgaben verbleiben. Durch die Planung der in einem Zeitabschnitt erforderlichen Varietät sollen die Produktionsbereiche in die Lage versetzt werden, bestimmte zukünftige Zustände des Systems bzw. Bearbeitungszustände der Kundenaufträge bewußt anzustreben und im Hinblick darauf entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

Bei Vorliegen eines Fließgleichgewichtes stellt jeder Produktionsbereich ein ultrastabiles System dar, das in der Lage ist, seine Stabilität auch bei unvorhergesehenen Störungen zu gewährleisten.

3.4 Entwicklung eines diskreten Simulationsinstrumentes

Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Produktionslogistik bestehen in der Gestaltung der Organisations- und der Lenkungsstrukturen sowie der Entwicklung eines Simulationsmodells, das den Entscheidungsträger bei der Lenkung des Produktionsprozesses unterstützt.

Die Gestaltungsaufgabe der systembildenden Koordination kann formal als Tupel:

$$G = \{ S, E, L, K \}$$

beschrieben werden mit

- G Gestaltung des Leistungssystems;
- S Segmentierung des Materialflußsystems: Art der sachlichen Spezialisierung;
- E Eigenschaften der Bereiche;
- L Struktur des Lenkungssystems: Hierarchieebenen, Funktionen;
- K Art der Koordination (hierarchisch, horizontal).

Im Rahmen der systemkoppelnden Koordination stehen die Planung und Aufrechterhaltung des Fließgleichgewichtes und die Unterstützung der Entscheidungsträger durch ein diskretes Simulationsinstrument im Vordergrund. Die Hierarchisierung der Produktionslenkung erfordert die Entwicklung von, dem Detaillierungsgrad der Entscheidungen auf der Lenkungebenen entsprechenden, quantitativen Modellen, welche die jeweilige Entscheidungssituation und den Materialfluß durch das Produktionssystem abbilden.¹⁴⁰

Die Simulation wird bevorzugt dort angewendet, wo das zeitdynamische Verhalten eines Systems untersucht wird. Zum Zweck der Analyse wird das Produktionssystem mit seinen Elementen, relevanten Eigenschaften und Wechselwirkungen in einem offenen, homomorphen Modell abgebildet, das bezogen auf die zu untersuchenden Variablen das gleiche Verhalten wie das reale System aufweist.¹⁴¹ Die Ergebnisse der Überprüfung eines geplanten

¹⁴⁰ Vgl. Kistner, K.-P. 1992, S. 1127. In der Theorie von Mesarovic u.a. repräsentieren die Modelle die Abstraktionsebenen (Strata).

¹⁴¹ Vgl. Friederich, D. 1998, S. 52; Weber, J. / Kummer, S. 1998, S. 200

Produktionsprogramms, von Einlastungsstrategien oder des erwarteten Auftragsfortschritts dienen nachfolgend als Entscheidungsgrundlage für die Regelung des Produktionsprozesses.

Liegt eine segmentierte Fertigung vor, so können aus der Perspektive der Produktionslenkung nur diskrete Zustandsänderungen der Produktionsbereiche beobachtet werden, welche zu diskreten Zeitpunkten erfolgen. Bei der Simulation des Produktionsprozesses handelt es sich somit um eine diskrete, zeit- und ereignisgesteuerte, Simulation.¹⁴²

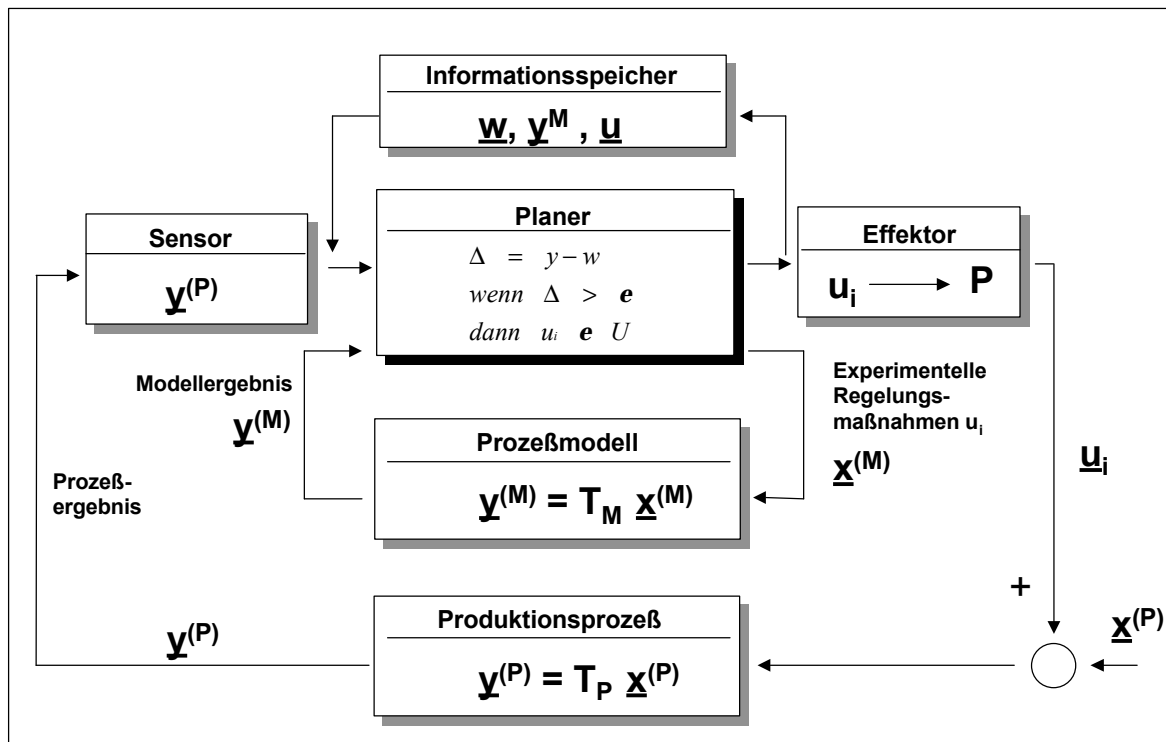


Abbildung 20: Unterstützung des Reglers durch ein Modell der Regelstrecke¹⁴³

Im konkreten Anwendungsfall sind für eine dynamische Betrachtung des Produktionsprozesses drei Modelltypen erforderlich:

ein Ressourcenmodell des Produktionssystems

Das Modell des Produktionssystems bildet die statische Struktur des Materialfluß- und des Lenkungssystems ab. Die kleinsten, aus logistischer Sicht auf der Lenkungsebene zu betrachtenden Elemente sind die Produktionsbereiche, die durch Aggregation der Ressourcen definiert werden. Die Relationen sind durch die möglichen Materialflußbeziehungen gegeben.

Jeder Bereich kann im Modell als Schwarzer Kasten dargestellt werden. Den Ansatzpunkt für eine homomorphe Abbildung des Produktionsprozesses liefert die Segmentierung des Produktionssystems in teilautonome Produktionsbereiche.

¹⁴² Zu den Ausprägungen der diskreten Simulation vgl. Friederich, D. 1998, S. 60 ff.

¹⁴³ In Anlehnung an Golenko, D.I. u.a. 1977, S. 30

ein Erzeugnis- bzw. Auftragsmodell

Durch die Auftragsdaten wird die Belastung der Produktionsbereiche beschrieben. Im Auftragsmodell werden die statische Struktur des Auftrages sowie die dynamisch festgelegten Start- und Endtermine der Fertigungsabschnitte abgebildet. Die Kopplungen sind durch die Struktur des Erzeugnisses festgelegt.

ein Zeitmodell

Grundlage jeder Darstellung dynamischer Sachverhalte ist die Festlegung eines Zeitmodells.¹⁴⁴ Änderungen der Systemzustände werden jeweils zu diskreten Zeitpunkten, den Beginn und den Endzeitpunkten der Systemtakte, erfaßt. Die Entscheidungen über die Länge eines Systemtaktes sowie die Verwendung verschieden langer Systemtakte sind unternehmensspezifisch zu treffen.

Durch die drei Modelltypen werden die der Planung zugrundeliegenden Daten beschrieben. Der „Fluß“ der Aufträge durch das Produktionssystem wird durch das kapazitive Systemverhalten im Zeitablauf abgebildet, aus dem auf die qualitative und quantitative Zusammensetzung des Auftragsbestandes in einem Produktionsbereich, auf die Bearbeitungszustände der Kundenaufträge und damit auf die in dem Systemtakt erforderliche Varietät geschlossen werden kann.

Die Input-Output-Analyse von als Schwarze Kästen aufgefaßten Produktionsbereichen ermöglicht es, verschiedenartige Logistik- oder Fertigungsorganisationen in einem diskreten Modell abzubilden, da keine direkte Abbildung der Organisationsform im Modell erfolgt. Für die Abbildung des kapazitiven Verhaltens des Produktionssystems wird - ausgehend von der Darstellung des Produktionsbereiches als Markov-Graph - eine Systemübergangsfunktion ermittelt, mit der die Eingangs- in die Ausgangsgrößen transformiert werden.

Grundlage für die analytische Beschreibung des Verhaltens eines Produktionsbereiches ist eine Normierung der Belastung durch die im Systemtakt t zu bearbeitenden Fertigungsaufträge $-I_i(t)$ - sowie der verfügbaren Kapazität $-VK_i(t)$ -. Durch die Normierung der in einem Systemtakt verfügbaren Kapazitäten kann bei der Simulation von den Fertigungsaufträgen abstrahiert werden indem die Belastung der Fertigungsbereiche durch diese und deren Transformation (Bearbeitung) unter Anwendung der Operatorenrechnung abgebildet wird.

Infolge zeitübergreifender Beziehungen verknüpfen die Zustände des Produktionssystems die Entscheidungen aufeinanderfolgender Planungszeitpunkte. Hier liegt eine zur Analogie zum Kalkül der Markov-Kette vor, die im Rahmen der diskreten Simulation des Produktionsprozesses ausgenutzt wird.

¹⁴⁴ Vgl. Warnecke, H.-J. 1989, S. 113

Das Problem der fehlenden Plandaten für die Produktionsprogrammplanung kann durch die Verwendung von Ersatzdaten gelöst werden. Durch diese wird die Vielfalt der Erzeugnisse verringert und die Veränderlichkeit der Plandaten nimmt ab, ohne daß dieses einen Einfluß auf das dem Kunden angebotene Erzeugnisspektrum hat. Aus den Erwartungen über die anteilmäßige Verteilung der Variantentypen können kundenneutrale Auftragsnetzpläne erzeugt werden, die als Basis für die Generierung unterschiedlicher Produktionsprogramme dienen, welche auf ihre Machbarkeit hin untersucht werden können.

3.5 Zusammenfassung der Methoden zur Handhabung der Komplexität

Die Maßnahmen, die zur Handhabung der Materialfluß- und der Planungskomplexität erforderlich sind, lassen sich wie folgt zusammenfassen (vgl. *Abbildung 21*):

- Handhabung der Materialflußkomplexität durch Segmentierung des Materialflußsystems. Die Segmentierung ermöglicht eine zeitdiskrete Betrachtungsweise der Prozesse, die Aggregation eine vereinfachte Abbildung des Zeitverhaltens.
- Eine weitgehende Selbstorganisation der Produktionsbereiche durch die Übereinstimmung von Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortung für die Ergebnisse.
- Die konsequente Erfüllung des Gesetzes der erforderlichen Varietät als Voraussetzung für die Beherrschung der Schnittstellen zwischen den Produktionsbereichen.
- Bildung einer flachen, am Materialfluß orientierten und aus mehreren Lenkungsebenen bestehenden, hierarchisch strukturierten Regelkreisstruktur in Verbindung mit horizontaler Selbstabstimmung der Produktionsbereiche.
- Die Lenkung der Produktionsbereiche über Zielvereinbarungen und Ergebnisüberwachung in Richtung auf die Zielsetzung des Gesamtsystems.

3.6 Die Aufgaben des Logistik-Controlling

Die Logistik und das Controlling sind als Koordinationsfunktionen eng verbunden. Das Logistikmanagement beinhaltet die Gestaltung der Materialflußstruktur, die Planung des Logistikprozesses, die Führung der am Wertschöpfungsprozeß beteiligten Bereiche durch Zielvorgaben und die Überwachung der Logistikleistung. Aufgabe des Controlling ist die Steuerung der Wirtschaftlichkeit des logistischen Leistungsprozesses. Die Ausgestaltung des Logistik-Controlling muß dabei die Kerngedanken der Logistik-Konzeption fördern: die Netzwerkperspektive und die Flußorientierung.¹⁴⁵ Das Controlling-System muß der Führung verstärkt schnittstellenübergreifende und flußorientierte Informationen zur Verfügung stellen.

Ursache für die Flexibilitätskosten ist die Anzahl der Freiheitsgrade, die dem Produktionsbereich für die Selbstorganisation in einem Systemtakt offenstehen.¹⁴⁶

¹⁴⁵ Vgl. Delfmann, W. 1995, S. 515

¹⁴⁶ Vgl. Reichwald, R. / Behrbohm, P. 1983, S. 832

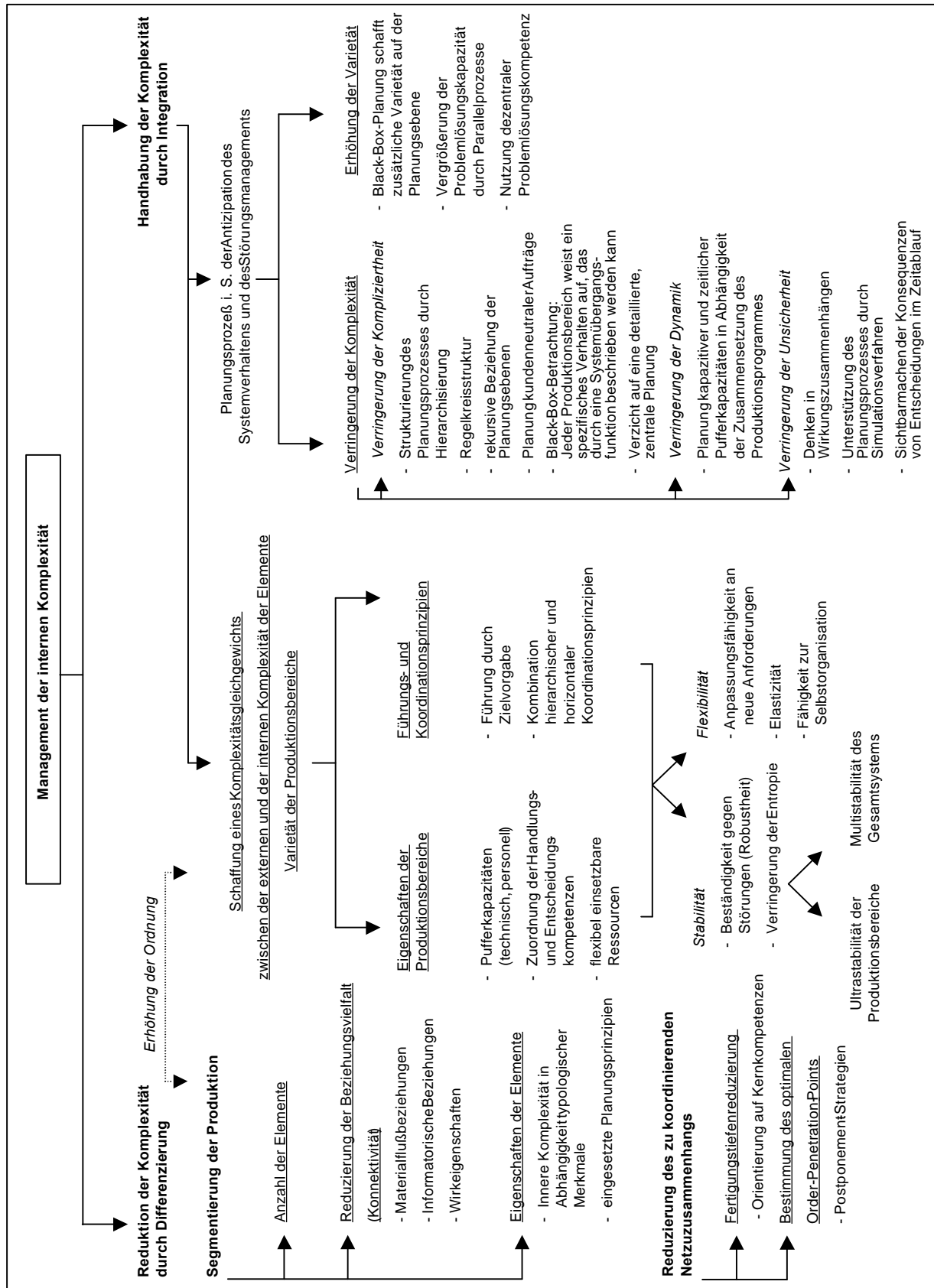


Abbildung 21: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Handhabung der Komplexität

Im Mittelpunkt der Betrachtung steht daher der Zielkonflikt zwischen der Produktivität und der Flexibilität, der darin besteht, daß einerseits für ein effektives Schnittstellenmanagement die Notwendigkeit des Vorhandenseins von Schlupf besteht, andererseits steigende Flexibilität zu Lasten der Produktivität geht und mit dem Umfang des Schlupfes Kosten verbunden sind.¹⁴⁷

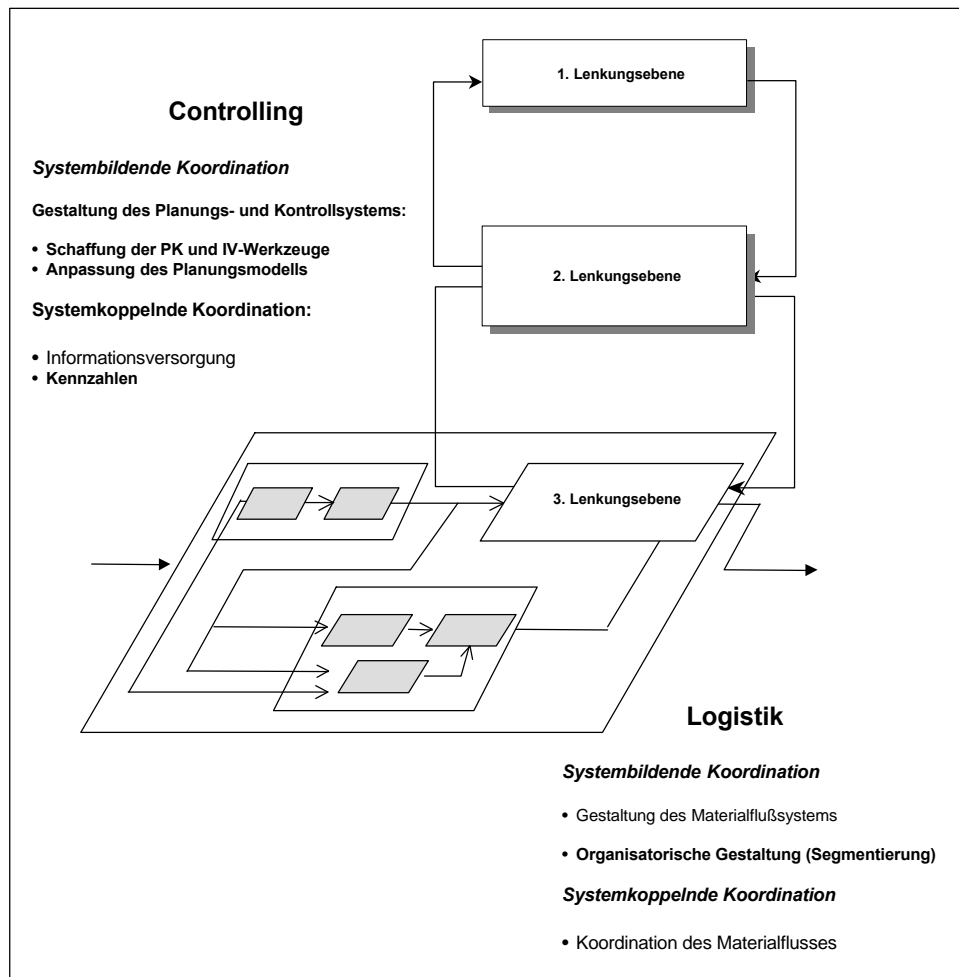


Abbildung 22: Abgrenzung der Aufgaben des Logistikmanagements und des Controlling

Ein kybernetisches Produktions-Controlling muß sich an den Wirkungsgefügen im Logistiksystem orientieren, die Rolle der Elemente im System erkennen und damit die Interdependenzen zwischen den Elementen transparent machen: „Das Ziel des Controlling besteht darin, Effizienz und Effektivität der Führung ebenso zu erhöhen wie die Anpassungsfähigkeit und Flexibilität des Unternehmens.“¹⁴⁸

Will man das Verhalten des Produktionssystems zielgerichtet beeinflussen, so muß man insbesondere die Systemübergangsfunktionen der einzelnen Produktionsbereiche und deren Parameter kennen. Eine zentrale Aufgabe des Controllers ist es daher, die Ressourcenmodelle stets auf dem aktuellen Stand zu halten.

¹⁴⁷ Vgl. Reichwald, R. / Behrbohm, P. 1983, S. 840. Es ist stets das Spannungsfeld zwischen Kundennähe, Komplexität und Effizienz zu berücksichtigen, insbesondere weil steigende Kosten aufgrund der Wettbewerbsintensität nicht in höheren Preisen erlösbar sind und somit zu einer abnehmenden Effizienz führen.

¹⁴⁸ Eine der Kernaussagen des Controlling, Vgl. Weber, J. 1993b, S. 43

Literatur

- ADAM, D. (1990): Produktionsdurchführungsplanung, in: Jacob, H. (Hrsg.), Industriebetriebslehre, 4. Aufl., Wiesbaden, S. 673 - 918
- ADAM, D.(1992): Aufbau und Eignung klassischer PPS-Systeme, in: Adam, D. (Hrsg.): Fertigungssteuerung. Schriften zur Unternehmensführung, Bd. 38/39, Wiesbaden, S. 9 - 25
- ADAM, D. (1996): Planung und Entscheidung: Modelle – Ziele - Methoden, 4. Aufl., Wiesbaden
- ADAM, D. (1998): Produktions-Management, 9. Aufl., Wiesbaden
- ADAM, D.; JOHANNVILLE, U. (1998): Die Komplexitätsfalle, in: Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement, Wiesbaden, S. 5 - 28
- ASHBY, W. R. (1957): An Introduction to Cybernetics, 2. Impr., London
- BAETGE, J. (1974): Betriebswirtschaftliche Systemtheorie. Regelungstheoretische Planungs-Überwachungsmodelle für Produktion, Lagerung und Absatz, Opladen
- BAETGE, J. (1983): Thesen zur Wirtschaftskybernetik, in: Baetge, J. (Hrsg.): Kybernetische Methoden und Lösungen in der Unternehmenspraxis, Berlin, S. 13 - 24
- BEER, S. (1985): Diagnosing the System for Organizations, Chichester u.a.
- BLISS, C. (2000): Management von Komplexität. Ein integrierter, systemtheoretischer Ansatz zur Komplexitätsreduktion, Wiesbaden
- BLOECH, J.; BOGASCHEWSKY, R.; GÖTZE, U.; ROLAND, F. (1998): Einführung in die Produktion, 3. Aufl., Heidelberg
- BOUTELLIER, R.; SCHUH, G.; SEGHEZZI, D. (1997): Industrielle Produktion und Kundennähe – Ein Widerspruch ? in: Schuh, G.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität. Steckt die Produktion in der Sackgasse ?, Berlin u.a.
- BURCHERT, H. (2000): Produktionsplanung, in: Burchert, H.; Hering, T.; Rollberg, R. (Hrsg.): Produktionswirtschaft. Aufgaben und Lösungen, München u.a., S. 3 - 8
- CHILD, P; DIEDERICHS, R.; SANDERS, F.-H.; WISNIOWSKI, S. (1991): SMR Forum: The Management of Complexity, in: Sloan Management Review, Fall, S. 73 - 80
- CLM-LOGISTICS DEFINITION (2000): in: <http://www.clm1.org> am 24. März 2000
- DELFMANN, W. (1995): Logistik, in: Corsten, H.; Reiß, M. (Hrsg.): Handbuch Unternehmensführung. Konzepte-Istrumente-Schnittstellen, Wiesbaden, S. 505- 518
- DREXL, A., FLEISCHMANN, B., GÜNTHER, H.-O., STADTLER, H., TEMPELMEIER, H. (1994): Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme, zfbf, 46.Jg., H.12, S. 1022 -1045
- EIDENMÜLLER, B. (1991): Die Produktion als Wettbewerbsfaktor, 2. A., Zürich u.a.
- EVERSHEIM, W.; SCHENKE, F.-B.; WARNKE, L. (1998): Komplexität im Unternehmen gestalten-Optimale Gestaltung von Produkten und Produktionssystemen, in: Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement, Wiesbaden, S. 29 - 45

- FERSTL, O. K., MANNMEUSEL, T. (1995):* Dezentrale Produktionslenkung, in: CIM-Management, 11. Jg., H.3, S. 26 - 32
- FISCHER, TH. (1993):* Koordination betrieblicher Regelungsaufgaben im Rahmen eines integrierten Informationssystems der Unternehmung, Renningen-Malsheim
- FRESE, E. (1992):* Organisationstheorie, 2. A., Wiesbaden
- FRESE, E. (1995):* Grundlagen der Organisation: Konzept, Prinzipien, Strukturen, 6. Aufl., Wiesbaden
- FRICKER, A. R. (1996):* Eine Methodik zur Modellierung, Analyse und Gestaltung komplexer Produktionsstrukturen, Aachen
- FRIEDERICH, D. (1998):* Simulation in der Fertigungssteuerung, Wiesbaden
- GAIROLA, A. (1996):* Kunden-Lieferanten-Beziehungen im Unternehmen, in: Bullinger, H.-J.; Warnecke, H.-J. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen : ein Handbuch für das moderne Management, Berlin u.a., S. 467 - 488
- GAITANIDES, M. (1983):* Prozeßorganisation, München
- GOLENKO, D.I., LAUENROTH, H.-G., SCHULTZE, H., SCHULZE, G. (1977):* Kybernetik zur Steuerung ökonomischer Prozesse, Berlin
- HABERFELLNER, R. (1975):* Die Unternehmung als dynamisches System: Der Prozeßcharakter der Unternehmensaktivitäten, Zürich
- HÄFELE, W. (1993):* Systemische Organisationsentwicklung. Eine evolutionäre Strategie für kleine und mittlere Organisationen, 2. Aufl., Frankfurt u.a.
- HAIDECKER, A. (1975):* Die kybernetische System-, Informations- und Regelungstheorie als Grundlage des Controlling, in: Haberland, G. (Hrsg.): Handbuch des Controlling und Finanzmanagement, München, S. 125 - 146
- HILL, W., FEHLBAUM, R., ULRICH, P. (1994):* Organisationslehre, Band 1, 5. Aufl., Bern u.a.
- HÖGE, R. (1995):* Organisatorische Segmentierung. Ein Instrument zur Komplexitätshandhabung, Wiesbaden
- HUBER, P. (1993):* Produktionsplanung und -lenkung. Ein PPS-Konzept für segmentierte und dezentralisierte Produktionen, Eidgenössische Technische Hochschule, Dissertation, Zürich
- KERN, S. (1994):* Koordination dezentraler Produktionseinheiten, in: Corsten, H. (Hrsg.): Handbuch Produktionsmanagement, Wiesbaden, S. 382 -401
- KERN, S., RUFFING, T., SCHEER, A.-W. (1989):* Planungs- und Steuerungssysteme für Fertigungsinseln, Zwf, 84. Jg., H.12, S. 696 - 701
- KISTNER, K.-P. (1992):* Koordinationsmechanismen in der hierarchischen Planung, ZfB, 62. Jg., H.10, S. 1125 - 1146
- KISTNER, K.-P. (1993):* Koordinationsmechanismen in der hierarchischen Planung, in: Schüler, W. (Hrsg.): Neuere Unternehmenstheorie: Informationsmonopole-Risikomanagement-hierarchische Planung, Wiesbaden, S. 83 - 104
- KISTNER, K. P.; SWITALSKI, M. (1989):* Hierarchische Produktionsplanung, ZfB, 59. Jg., H.5, S. 477 -503
- KISTNER, K.-P., STEVEN, M. (1993):* Produktionsplanung, 2. Aufl., Heidelberg

- KLAUS, P. (1998):* Jenseits einer Funktionenlogistik: der Prozeßansatz, in: Isermann, Heinz (Hrsg.): Logistik, 2. Aufl., Landsberg/Lech, S. 61-78
- KLOTZ, U. (1993):* Vom Taylorismus zur Objektorientierung, in: Scharfenberg, H. (Hrsg.): Strukturwandel in Management und Organisation, Baden-Baden, S. 161 - 200
- KNOLMEYER, G. (1987):* Materialfluooptimierung statt Materialbestandsoptimierung: Ein Paradigmawechsel in der Theorie des Produktions-Managements, in: Baetge, J., Lilienstern, H.R. v., Schäfer, H. (Hrsg.): Logistik - eine Aufgabe der Unternehmenspolitik, Berlin, S. 53 - 77
- KÖSTER, O. (1998):* Strategische Disposition. Konzept zur Bewältigung des Spannungsfeldes Kundennähe, Komplexität und Effizienz im Leistungserstellungsprozeß, Dissertation, St. Gallen
- KRIEG, W. (1971):* Kybernetische Grundlagen der Unternehmensgestaltung, Bern, u.a.
- KUMMER, S. (1992):* Logistik im Mittelstand. Stand und Kontextfaktoren der Logistik in mittelständischen Unternehmen, Stuttgart
- KUMMER, S. (1997):* Optimierung von Geschäftsprozessen durch Postponementstrategien, in: Wildemann, H. (Hrsg.): Geschäftsprozeßorganisation, München, S. 145-164
- KUMMER, S. (1999A):* Schnittstellen in der Logistik, in: Schulte, C. (Hrsg.): Lexikon der Logistik, München u.a., S. 358-362
- KUMMER, S. (1999B):* Berücksichtigung der Logistik in der Unternehmensführung, in: Weber, J.; Baumgarten, H. (Hrsg.): Handbuch Logistik. Management von Material- und Warenflußprozessen, Stuttgart, S. 33 - 51
- LANGE, O. (1969):* Ganzheit und Entwicklung in kybernetischer Sicht, Berlin
- LEISTEN, R. (1996):* Iterative Aggregation und mehrstufige Entscheidungsmodelle, Heidelberg
- LIEBIG, O. (1997):* Unternehmensführung aus der Perspektive der neueren Systemtheorie. Beobachtungen der Führungspraxis und ihre Implikationen für eine Theorie der Führung, München
- LOCHTHOWE, R. (1990):* Logistik-Controlling. Entwicklung flexibilitätsorientierter Strukturen und Methoden zur ganzheitlichen Planung, Steuerung und Kontrolle der Unternehmenslogistik, Frankfurt/M. u.a.
- LUCZAK, H.; FRICKER, A. (1997):* Komplexitätsmanagement – ein Mittel der strategischen Unternehmensgestaltung, in: Schuh, G.; Wiendahl, H.-P.(Hrsg.): Komplexität und Agilität. Steckt die Produktion in der Sackgasse ?, Berlin u.a., S. 309 - 323
- MALIK, F. (1992):* Strategie des Managements komplexer Systeme, 4. Aufl., Bern u.a.
- MALIK, F. (2000):* Systemisches Management, Evolution, Selbstorganisation. Grundprobleme, Funktionsmechanismen und Lösungsansätze für komplexe Systeme, 2. Aufl., Bern u.a.
- MEAL, H.C. (1984):* Putting Production Decisions where they belong, Harvard Business Review, H.3/4, S. 102 - 111
- MESAROVIC, M.D., TACKO, D., TAKAHARA, Y.(1970):* Theory of Hierarchical, Multilevel Systems, New York u.a.
- MISSBAUER, H. (1998):* Bestandsregelung als Basis für eine Neugestaltung von PPS-Systemen, Heidelberg
- PATZAK, G. (1982):* Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme, Berlin u.a.
- PAWELLEK, G., BEST, D., HINZ, F.(1994):* Produktionslogistik-Organisation und Steuerung kybernetisch optimieren, zfo, H.1, S. 34 - 41

- PAWELLEK, G.; HARTMANN, T. (1999):* Senkung der Komplexität in der Materialflußsteuerung, in: Beschaffung aktuell, H.2, S. 30 - 33
- PAWELLEK, G.; SCHIRRMANN, A. (1999):* Dezentrale Leitsysteme, in: zfo, H.5, S. 255 - 259
- PETERSEN, TH. (1989):* Optimale Anreizsysteme. Betriebswirtschaftliche Implikationen der Principal-Agenten-Theorie, Wiesbaden
- PFEIFFER, W.; WEIß, E.; STRUBL, C. (1994B):* Systemwirtschaftlichkeit : Konzeption und Methodik zur betriebswirtschaftlichen Fundierung innovationsorientierter Entscheidungen, Göttingen
- PFÖHL, H.-CHR. (1996):* Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen, 5. Aufl., Berlin u.a.
- PROBST, G.J.B. (1981):* Kybernetische Gesetzhypothesen als Basis für Gestaltungs- und Lenkungsregeln für das Management, Bern u.a.
- REICHWALD, R.; BEHRBOHM, P. (1983):* Flexibilität als Eigenschaft produktionswirtschaftlicher Systeme, ZfB, 53. Jg., H.9, S. 831 - 853
- REIß, M.(1993):* Komplexitätsmanagement, Teil 1, WISU, H.1, S. 54-59, Teil 2, H.2, S. 132 - 137
- REIß, M, HÖGE, R. (1993):* Kosten und Nutzen der Segmentierung, in: Kostenrechnungspraxis, H.4, S. 215 - 221
- ROEVER, M. (1991):* Überkomplexität, in: Manager Magazin, Teil 1: 1991(10), S. 218 – 233; Teil 2: (1991)11, S. 253 - 264; Teil 3: 1991(12), S. 243 - 249, Teil 4: (1992)1, S. 127 - 135
- ROHLOFF, M. (1995):* Produktionsmanagement in modularen Organisationsstrukturen, München
- ROSNEY, J. DE (2000):* Analytic vs. Systemic Approaches, in: Principia Cybernetica Web, <http://pespmc1.vub.ac.be/ANALSYST.html> am 29. Februar 2000
- RUFFING, T. (1991A):* Fertigungssteuerung bei Fertigungsinseln. Eine funktionale und datentechnische Informationsarchitektur, Köln
- RUHNAU, J.; VÖLKER, S. (1996):* Führen durch Zielvereinbarungen, in: FB/IE, 45. Jg., H.5, S. 257-261
- SCHEER, A.-W. (1991):* Neue Architekturen für PPS-Systeme, in: Scheer, A.-W.: Fertigungssteuerung- Expertenwissen für die Praxis, München u.a., S. 13 - 19
- SCHERER, E. (1996A):* Koordinierte Autonomie in verteilten heterogenen Produktionssystemen. Ein Beitrag zur Flexibilisierung der Werkstattsteuerung, Zürich, 1996
- SCHERER, E. (1996B):* Komplexität in der Produktion beherrschen ?, in: io Management Zeitschrift, 65. Jg. H.3, S. 60 - 64
- SCHIEMENZ, B. (1997):* Die Komplexität von Geschäftsprozessen und Möglichkeiten zu deren Handhabung, in: Wildemann, H. (Hrsg.): Geschäftsprozeßorganisation, München, S. 103 - 126
- SCHLÜCHTERMANN, J. (1996):* Planung in zeitlich offenen Entscheidungsfeldern, Wiesbaden
- SCHUDERER, P. (1996):* Prozeßorientierte Analyse und Rekonstruktion logistischer Systeme. Konzeption, Methoden, Werkzeuge, Wiesbaden
- SCHÜPBACH, H. (1994):* Prozeßregulation in rechnerunterstützten Fertigungssystemen, Zürich u.a.
- SCHUH, G.; SCHWENK, U., STETH, C. (1998):* Komplexitätsmanagement im St. Galler Management-Konzept, in: io Management Zeitschrift, H.3, S. 78 - 85

- SCHUHMAN, W. (1991):* Informations-Management. Unternehmensführung und Informationssysteme aus systemtheoretischer Sicht, Frankfurt u.a.
- SCHUMACHER, S. (1994):* PPS-Systeme für Unternehmen der Klein- und Mittelserienfertigung, Heidelberg
- SCHWARZMAIER, U. (1995):* Verfahren zur Produktionsplanung und Produktionssteuerung in industriellen Unternehmen, Berlin
- STADTLER, H. (1988):* Hierarchische Produktionsplanung bei losweiser Fertigung, Heidelberg
- STADTLER, H. (1996):* Hierarchische Produktionsplanung, in: Kern, W. u.a. (Hrsg.), Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Aufl., Stuttgart, Sp. 631 - 641
- STEVEN, M. (1994):* Hierarchische Produktionsplanung, 2. Aufl., Heidelberg
- ULRICH, H. (1970):* Die Unternehmung als produktives soziales System, 2. Aufl., Bern u.a.
- ULRICH, H.; PROBST, G.J.B.(1995):* Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln, 4. A., Bern u.a.
- WARNECKE, H.J. (1989):* Die Produktion als Regelkreis. Überlegungen zu seiner Gestaltung, Automatisierungstechnische Praxis (atp), 31. Jg., H.3, S. 110 - 115
- WEBER, J. (1987):* Logistikkostenrechnung / Berlin u.a.
- WEBER, J.(1993B):* Logistik-Controlling, 3. Aufl., Stuttgart, 1993
- WEBER, J.; KUMMER, S. (1990):* Aspekte des betriebswirtschaftlichen Managements der Logistik, in: Die Betriebswirtschaft, 50. Jg., H.6, S. 775 - 787
- WEBER, J., KUMMER, S. (1994):* Logistikmanagement. Führungsaufgaben zur Umsetzung des Flußprinzips im Unternehmen, Stuttgart
- WEBER, J., KUMMER, S. (1998):* Logistikmanagement, 2. Aufl., Stuttgart
- WEGNER, U. (1996):* Einführung in das Logistikmanagement. Prozesse, Strukturen, Anwendungen, Wiesbaden
- WESTPHAL, J. (1996):* Informationsschnittstellen und Koordinationsbedarf zwischen Produktionsplanung, Koordinationsfunktion und Fertigungssteuerung der Segmente, in: Schneider, H. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung. Neue Anforderungen durch Veränderung des Produktionssystems, 1. Arbeitsbericht, Technische Universität Ilmenau, S. 26 - 50
- WILDEMANN, H. (1995):* Komplexitätsmanagement in der Fabrikorganisation, in: ZWF 90. Jg., H.1-2, S. 21 - 26
- WILDEMANN, H. (1998A):* PPS-Systeme: Sanierung oder Ablösung. Leitfaden zur kontinuierlichen Weiterentwicklung von PPS-Systemen, München
- WILDEMANN, H. (1998B):* Komplexitätsmanagement durch Prozeß- und Produktgestaltung, in: Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement, Wiesbaden
- WILDEMANN, H. (1999):* Komplexität: Vermeiden oder beherrschen lernen ?, in: Harvard Business Manager, H.6, S. 31 - 42
- ZÄPFEL, G. (1991):* Produktionslogistik : konzeptionelle Grundlagen und theoretische Fundierung, in: ZfB, 61. Jg., H.2, S. 209 - 235
- ZEHENDER, K. (1998):* Unternehmensführung in fraktalen Unternehmungen. Aufgaben, Architektur und Funktionsweise, Frankfurt/M.

Bisher sind als Diskussionsbeiträge erschienen:

- 1/97 **Bröcker, Johannes:** How would an EU-membership of the Visegrád-countries affect Europe's economic geography?
- 2/97 **Teubel, Ulf:** Wirkung von Straßenbenutzungsabgaben auf die Wohlfahrt von Berufspendlern - eine empirische Analyse -
- 1/98 **Röhl, Klaus-Heiner:** Gewerbeflächenmanagement in Agglomerationsräumen - Institutionelle Lösungsansätze und die Einflußmöglichkeiten der Regionalplanung
- 2/98 **Bröcker, Johannes und Frank Richter:** Entwicklungsmuster ostdeutscher Stadtregionen nach 1945
- 3/98 **Bröcker, Johannes:** Welfare Effects of a Transport Subsidy in a Spatial Price Equilibrium
- 4/98 **Bröcker, Johannes:** Spatial Effects of Transeuropean Networks: preliminary results from a spatial computable general equilibrium analysis
- 5/98 **Bröcker, Johannes:** Spatial Effects of Transport Infrastructure: The Role of Market Structure
- 1/99 **Bröcker, Johannes und Martin Schneider:** How does Economic development in Eastern Europe affect Austria's regions? A multiregional general equilibrium framework
- 2/99 **Richter, Frank:** Ökonomische Hintergründe der Verwaltungsreform von 1952 in der DDR
- 1/2000 **Röhl, Klaus-Heiner:** Die Eignung der sächsischen Agglomerationsräume als Innovations- und Wachstumspole für die wirtschaftliche Entwicklung des Landes
- 2/2000 **Röhl, Klaus-Heiner:** Der Aufbau der ostdeutschen Infrastruktur und sein Beitrag zur wirtschaftlichen Entwicklung in Sachsen
- 3/2000 **Kummer, Sebastian; Mating, Anette; Käsbauer, Markus; Einbock, Marcus:** Franchising bei Verkehrsbetrieben
- 4/2000 **Westphal, Jan R.:** Komplexitätsmanagement in der Produktionslogistik