

Betriebswirtschaftliche Forschungsergebnisse

Herausgegeben von

Prof. Dr. h. c. mult. Erich Kosiol
Freie Universität Berlin

in Gemeinschaft mit

Prof. Dr. h. c. mult. Erwin Grochla
Universität zu Köln

Prof. Dr. Dieter Pohmer
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Prof. Dr. Eberhard Witte
Ludwig-Maximilians-Universität München

Prof. Dr. Heinz Langen
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Prof. Dr. Ralf-Bodo Schmidt
Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Br.

Prof. Dr. Werner Vollrodt
Bayerische Julius-Maximilians-Universität, Würzburg

Prof. Dr. Knut Bleicher
Justus-Liebig-Universität, Gießen

Prof. Dr. Marcell Schweitzer
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Prof. Dr. Günter Dlugos
Freie Universität Berlin

Prof. Dr. Norbert Szyperski
Universität zu Köln

Prof. Dr. Klaus Chmielewicz
Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. Siegfried Menrad
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Prof. Dr. Ulrich Pleiß

Erziehungswissenschaftliche Hochschule Rheinland-Pfalz, Abt. Worms

Band 83

Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und der Organisation des Produktionsprozesses

Von

Prof. Dr. Hans-Ulrich Küpper
Universität Essen-Gesamthochschule



D U N C K E R & H U M B L O T / B E R L I N
(1980)

Als Habilitationsschrift auf Empfehlung des Fachbereichs
Wirtschaftswissenschaft (seit 30. 11. 1978: Wirtschaftswissenschaftliche
Fakultät) der Eberhard-Karls-Universität Tübingen,
gedruckt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft



K 81/595

Alle Rechte vorbehalten
© 1980 Duncker & Humblot, Berlin 41
Gedruckt 1980 bei Zippel-Druck in Firma Büro-Technik GmbH., Berlin 36
Printed in Germany

ISBN 3 428 04669 2

Geleitwort des Herausgebers

Der Verfasser legt mit dieser Veröffentlichung seine Habilitationsschrift vor, in welcher es sein Hauptanliegen ist, die partiellen Ansätze der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie sowie der Ablauforganisation des Fertigungsprozesses zu einem umfassenden Satzsystem zu integrieren. Er setzt sich damit zum Ziel, das theoretische Aussagensystem über die (materiellen) Realisationsprozesse der Leistungserstellung unter strukturtheoretischen Aspekten zu erweitern. Dabei knüpft der Verfasser mit seiner Untersuchung an die in der Betriebswirtschaftslehre ursprünglich vertretene Auffassung an, daß produktions- und kostentheoretische Analysen bei kleinsten Leistungseinheiten beginnen und schrittweise eine Aggregation für die gesamte Unternehmung verfolgen müssen.

Nach einer gründlichen Analyse der Betrachtungsgegenstände von Produktions- und Organisationstheorie werden schrittweise Möglichkeiten zur Theorieintegration herausgearbeitet. Besonderes Gewicht wird auf die Abbildung der Prozeßorganisation gelegt. Im einzelnen werden Strukturmerkmale von Produktionsprozessen erörtert, es wird der Input-Output-Ansatz dargestellt und schlüssig gezeigt, wie Strukturtatbestände des Produktionsprozesses durch den Input-Output-Ansatz abgebildet werden können. Außerdem stellt der Verfasser das Postulat auf, daß das statische Konzept der Produktionstheorie durch explizite Berücksichtigung der Zeitdimension erweitert werden müsse. Als haltbarer Anknüpfungspunkt erweist sich dafür die Lagerhaltungsproblematisierung, die zwanglos einen Zugang zur Dynamisierung der Produktionsfunktion ermöglicht. Im Sinne einer diskreten Dynamisierung werden sodann Typen von Transformationsfunktionen entwickelt. Durch seinen zweckmäßig gewählten Ansatz gelingt es dem Verfasser, die wichtigsten prozessualen Strukturtatbestände der Fertigung abzubilden. Er arbeitet überzeugend heraus, daß Organisationstypen, Programmtypen, Vergenztypen, Operationenfolgen, Einzelfragen der Leistungsabstimmung sowie der Arbeitsverteilung und der Gangfolgen in seine dynamische Produktionsfunktion integriert werden können.

Die mathematische Erfassung von Wechselbeziehungen zwischen produktionstheoretischen Tatbeständen bei konstanter Struktur von Produktiveinheiten kann als gelungen betrachtet werden. Auch durch die Unterscheidung in Produktionszeitenmodelle und Produktionsmengenmodelle bringt der Verfasser Klarheit in die bisher diskutierten Ansätze zum gleichen Fragenbereich. Mit großer Sorgfalt zeigt er, wie Beziehungen zwischen dem originären Gütereinsatz, dem Produktionsprozeß und dem Produktionsprogramm erfaßt wer-

den können. Die Bedeutung von Programm-, Organisations- und Vergenztypen als Bestimmungsgrößen des neuen produktionstheoretischen Aussagensystems wird überzeugend herausgestellt, wobei eine Dominanz der Organisationstypen unverkennbar ist.

Ein weiterer Abschnitt der Arbeit befaßt sich mit Veränderungsmöglichkeiten der Struktur von Produktiveinheiten. Aus den hier durchgeföhrten Teilanalysen entwickelt der Verfasser ein umfassendes Produktionsmodell, in welchem er zeigt, wie Strukturveränderungen der Produktiveinheiten die Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung sowie der Organisation des Fertigungsprozesses beeinflussen. Ein Ausblick auf die Möglichkeiten zur Einbeziehung des Einflusses interpersoneller Beziehungen in das produktions-theoretische Aussagensystem rundet das entwickelte Modell ab.

Mit der vorgelegten Schrift gelingt dem Verfasser ein beachtlicher Beitrag zur betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie. Die Entwicklung der dynamischen Produktionsfunktion auf der Basis der Input-Output-Analyse ist das wichtigste Ergebnis seiner Untersuchungen. Dieses Resultat steht ebenbürtig neben den bisher entwickelten betriebswirtschaftlichen Produktionsfunktionen und stellt meines Erachtens einen wichtigen Schritt zur Weiterentwicklung dieser Theorie dar. Ich möchte dem Verfasser wünschen, daß diese Produktionsfunktion im Fache angemessene Würdigung findet und zugleich einen Anstoß gibt, auf dem beschrittenen Wege weitere fruchtbare Forschung zu betreiben.

Marcell Schweitzer

Vorwort

Die betriebswirtschaftliche Forschung bewegt sich in mehreren grundlegenden Richtungen. Die vorliegende Schrift versucht einen Beitrag zur Weiterführung der Unternehmungstheorie zu leisten. Sie hat nicht die Entwicklung praktisch anwendbarer Modelle zum Gegenstand, die zur Lösung konkreter Entscheidungsprobleme unmittelbar herangezogen werden können. Ihre Aufgabe wird in der Abbildung und Analyse regelmäßiger Beziehungen in der Unternehmung gesehen. Theoretische Aussagensysteme sind notwendig, um die Vielfalt betrieblicher Einflußgrößen und Handlungsvariablen zu erfassen. Ein zentrales Problem der Betriebswirtschaftslehre besteht dabei in der Untersuchung von Interdependenzen zwischen den unterschiedlichen Entscheidungstatbeständen von Unternehmungen. Daher werden in dieser Schrift Interdependenzen zwischen der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie und einem Teilbereich der betriebswirtschaftlichen Organisationstheorie analysiert. Die Unternehmungstheorie soll eine Grundlage für die Entwicklung anwendbarer Modelle und Verfahren der Unternehmungsplanung bilden. Deshalb kann eine am theoretischen Wissenschaftsziel ausgerichtete Untersuchung indirekt auch pragmatische Bedeutung haben.

Diese Schrift stellt die überarbeitete Fassung einer im November 1977 vom Fachbereich Wirtschaftswissenschaft der Eberhard-Karls-Universität Tübingen angenommenen Habilitationsschrift dar. Sie wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft durch das Gewähren eines zweijährigen Habilitandenstipendiums sowie einer Druckbeihilfe gefördert. Für die Möglichkeit, mich über einen längeren Zeitraum hinweg voll auf dieses Forschungsprojekt zu konzentrieren, bin ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft zu großem Dank verpflichtet.

Besonderen Dank schulde ich meinem verehrten akademischen Lehrer, Herrn Prof. Dr. *Marcell Schweitzer*, Tübingen. Er hat das Entstehen der Schrift in allen Phasen sehr gefördert und war stets bereit, anstehende Probleme intensiv und kritisch zu diskutieren. Hierdurch hat er mir geholfen, in schwierigen Situationen der Auseinandersetzung mit dem zu untersuchenden Gegenstand weiterzukommen.

Herr Prof. Dr. *Siegfried Menrad*, Tübingen, hat mich bei diesem Forschungsprojekt ebenfalls gefördert. Ihm danke ich ebenso wie Herrn Prof. Dr. *Heinz Langen*, Tübingen, für eine Reihe von Hinweisen. Ferner bin ich den Herren Wirtschaftsreferendaren *Dieter Schäfer* und Dipl.-Math. *Ernst Troßmann* für die intensive Durchsicht der Schrift sowie eine Vielzahl von Anregungen dankbar.

Essen, im Sommer 1979

Hans-Ulrich Küpper

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der wichtigsten verwendeten Symbole	14
Einleitung: Gegenstand und Gang der Untersuchung.....	17
A. Gegenüberstellung der Betrachtungsgegenstände von Produktionstheorie und Organisationstheorie	19
I. Grundlegende Kennzeichnung der Betrachtungsgegenstände von Produktionstheorie und Organisationstheorie.....	19
1. Betrachtungsgegenstand der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie	19
2. Betrachtungsgegenstand der betriebswirtschaftlichen Organisationstheorie	23
II. Vergleichende Analyse der Betrachtungsgegenstände von Produktionstheorie und Organisationstheorie	30
1. Der Produktionsprozeß als Ansatzpunkt für eine Verbindung von Produktionstheorie und Organisationstheorie.....	30
2. Die Abgrenzung der kleinsten Betrachtungseinheit in Produktionstheorie und Organisationstheorie.....	34
3. Struktur produktions- und organisationstheoretischer Aussagen	38
B. Grundlagen zur Abbildung der Organisation des Produktionsprozesses in produktions- und organisationstheoretischen Aussagensystemen	43
I. Strukturmerkmale des Produktionsprozesses	43
1. Klassifikation der Strukturmerkmale des Produktionsprozesses	43
2. Strukturierungstatbestände der Produktionsbereitschaft.....	44
a) Zusammensetzung des potentiellen Produktionsprogramms	44

b) Ausstattung der Unternehmung mit Arbeitskräften und maschinellen Anlagen	46
c) Struktur der Produktiveinheiten	47
d) Struktur der Stückprozesse	50
3. Strukturierungstatbestände des Produktionsvollzugs	52
a) Festlegung des aktuellen Produktionsprogramms und der Los- bzw. Chargengrößen	52
b) Leistungsbestimmung der Produktiveinheiten	52
c) Bestimmung der Arbeitsverteilung	53
d) Festlegung der Gangfolgen	53
4. Ergebnismerkmale als Konsequenzen der Strukturierung des Produktionsprozesses	55
 II. Input-Output-Ansatz einer mehrvariablen Produktionsfunktion	58
1. Statischer Input-Output-Ansatz der Produktionsfunktion	59
a) Grundlegende Komponenten des betriebswirtschaftlichen Input-Output-Modells	59
b) Abbildung der Produktionsstruktur in der Strukturmatrix	62
c) Abbildung der Input-Output-Beziehungen von Teilprozessen in Transformationsfunktionen	65
d) Herleitung der Produktionsfunktion	69
2. Entwicklung eines dynamischen Input-Output-Ansatzes der Produktionsfunktion	76
a) Notwendigkeit der Formulierung eines dynamischen Input-Output-Ansatzes	76
b) Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Zeitdimension	79
c) Struktur der dynamischen Produktionsfunktion	82
aa) Grundgleichungen des dynamischen Input-Output-Ansatzes bei verschiedenen Typen verweilzeitabhängiger Transformationsfunktionen	82
bb) Herleitung dynamischer Produktionsfunktionen bei intervallweiser Anordnung der Gütermengengleichungen	86
 III. Abbildung der Strukturierungstatbestände des Produktionsprozesses im Input-Output-Ansatz	101
1. Abbildung der Struktur der Produktiveinheiten	102
a) Analyse der Bildung von Produktiveinheiten	102
b) Analyse der Organisationstypen der Fertigung	104

	Inhaltsverzeichnis	11
2. Abbildung der Stückprozesse	108	
a) Analyse der Vergenz des Objektflusses	108	
b) Analyse der Operationenfolgen	111	
3. Abbildung der Produktionsprogrammtypen	114	
4. Abbildung der Leistungsbestimmung, der Arbeitsverteilung und der Gangfolgen.	118	
 C. Die Erfassung von Interdependenzen zwischen produktions-theoretischen und organisatorischen Tatbeständen in Produktionsmodellen bei konstanter Struktur der Produktiveinheiten		 121
I. Abbildung der Interdependenzen zwischen Produktionsprogramm und Produktionsablauf in Produktionszeitenmodellen	121	
1. Abhängigkeit der Warte- und Leerzeiten von Operationen- und Gangfolgen im nichtlinearen Produktionszeitenmodell.	122	
2. Erweiterung des Produktionszeitenmodells um reihenfolge-abhängige Rüstzeiten und eine variable Auftragszahl	132	
3. Möglichkeiten zur linearen Formulierung des Produktionszeitenmodells	138	
4. Aussagefähigkeit und Anwendbarkeit von Produktionszeitenmodellen.	141	
II. Abbildung der Interdependenzen zwischen Gütereinsatz, Produktionsprogramm und Produktionsablauf in Produktionsmengenmodellen.	145	
1. Kennzeichnung der Struktur von Produktionsmengenmodellen der Produkte	146	
a) Grundlegende Elemente eines dynamischen Produktionsmengenmodells des Produktionsablaufs	147	
b) Alternativen der Modellformulierung.	150	
c) Erweiterungsmöglichkeiten der Grundmodelle.	160	
2. Erfassung und Analyse der Beziehungen zwischen originärem Gütereinsatz, Produktionsablauf und Güterausbringung	167	
a) Funktionen des originären Gütereinsatzes	167	
b) Strukturmerkmale der Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung	174	
c) Bedeutung der Organisationstatbestände des Produktionsvollzugs für die Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung	181	

d) Möglichkeiten zur Formulierung der Zielfunktion	184
3. Programm-, Organisations- und Vergenztypen als Bestimmungsgrößen des produktions- und organisationstheoretischen Aussagensystems	189
a) Kombinationsformen von Programm-, Organisations- und Vergenztypen.....	189
b) Struktur der produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen bei Fließfertigung mit hohem Grad an Leistungsabstimmung.....	194
c) Struktur der produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen bei Fließfertigung mit geringem Grad an Leistungsabstimmung.....	205
d) Struktur der produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen bei Werkstattfertigung.....	216
e) Struktur der produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen bei Werkstattfließfertigung.....	227
f) Struktur der produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen bei Fließinselfertigung.....	232
g) Problematik der theoretischen Erfassung neuer Formen der Arbeitsstrukturierung	237
 D. Interdependenzen zwischen produktionstheoretischen und organisatorischen Tatbeständen bei veränderlicher Struktur der Produktiveinheiten	 240
I. Bestimmungsgrößen für die Bildung von Produktiveinheiten ...	240
II. Aufbau eines umfassenden Produktionsmodells bei veränderlicher Struktur der Produktiveinheiten.....	243
1. Abbildung der Ausstattung mit maschinellen Anlagen und Arbeitskräften im umfassenden Produktionsmodell.....	243
2. Abbildung der gegenseitigen Zuordnung von Arbeitskräften und maschinellen Anlagen im umfassenden Produktionsmodell.....	247
3. Abbildung der Beziehungen zwischen Potentialgüterbestand und Produktionsvollzug im umfassenden Produktionsmodell	253
4. Möglichkeiten zur Formulierung einer Zielfunktion des umfassenden Produktionsmodells	259
III. Analyse der wichtigsten Interdependenzen zwischen der Bildung von Produktiveinheiten und der Strukturierung des Produktionsvollzugs.....	262

Inhaltsverzeichnis	13
IV. Probleme und Ansätze einer interdependenten Planung von Produktionsbereitschaft und Produktionsvollzug	267
1. Problematik einer unmittelbaren Anwendung des umfassenden Produktionsmodells in der Produktionsplanung	267
2. Einteilung der Handlungsvariablen unter Planungsgesichtspunkten.....	269
3. Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Interdependenzen zwischen den Variablen partieller Entscheidungsmodelle	272
E. Ausblick auf die Erfassung des Einflusses interpersoneller Beziehungen.....	277
Anhang.....	282
Literaturverzeichnis	285
Personenverzeichnis.....	319
Sachverzeichnis.....	324

Verzeichnis der wichtigsten verwendeten Symbole

1. Variablen:

b = sonstige Bestimmungsgrößen
d = Fertigungszeit, Intervalldauer
e = Beschaffungsmenge
f = Anzahl Arbeitnehmerkündigungen
i = Individualvariable
k = Kosten je Einheit
l = Lagerendbestandsmenge
p = Herstellungsmenge
r = Ausbringungs- bzw. Einsatzmenge
u = Umrüstvariable
v = Leerzeit(anteils)variable
w = Wartezeit
x = Absatzmenge
y = Reihenfolgevariable
z = Zuordnungsvariable
 \hat{A} = Anzahl Einstellungen an Arbeitskräften
 \bar{A} = Anzahl Entlassungen an Arbeitskräften
A = Anzahl verfügbarer Arbeitskräfte
E = Erlöse
K = Kosten
 \hat{M} = Anzahl angeschaffter maschineller Anlagen
 \bar{M} = Anzahl verkaufter maschineller Anlagen
M = Anzahl verfügbarer maschineller Anlagen

2. Koeffizienten:

h = Rüstzeit
H = Kapazitätsanteil für Umrüstung
L = Liquidationserlös für maschinelle Anlagen

N = Nachfragemenge

Q = Kapazität in Produkteinheiten

α = Produktionskoeffizient für Werkstoffverbrauch

β = Produktionskoeffizient für Betriebsstoffverbrauch während Bearbeitung

γ = Produktionskoeffizient für Betriebsstoffverbrauch während Umrüstung

ε = Bedienungszeitanteil während Nutzungszeit der Anlagen

ζ = Fluktuationsrate

η = Erholungszeitanteil

ϑ = Verweilzeit

λ = Taktzeit

μ = Verteilzeitanteil

ξ = Verrichtungseinheiten je Produkt

π = Stücklerös

ρ = Produktionsgeschwindigkeit

σ = Absatzgeschwindigkeit

ϕ = Einweisungszeit bei Anlernen von Arbeitskräften

Ψ = Ausschußkoeffizient

ψ = Bedarf an Transportmittelkapazität je Produkteinheit

3. Indices:

$a = 1, \dots, A$ = Arbeitskräfte

$b = 1, \dots, B$ = Betriebsstoffe (fremdbezogen)

$c = 1, \dots, C$ = Betriebsstoffe (eigenerzeugt)

e = Qualifikationsgruppe

$f = 1, \dots, F$ = Stelle in Operationenfolge

$g = 1, \dots, G$ = Arbeitsgang

$h = 1, \dots, H$ = (End-)Produkttyp

$j = 1, \dots, J$ = Güterart

k = Lebensalter

$m = 1, \dots, M$ = maschinelle Anlage

$n = 1, \dots, N$ = Transportmittel

$p = 1, \dots, P$ = Produktart

$q = 1, \dots, Q$ = Rohstoff

$s = 1, \dots, S$ = Fertigungsstraße

$t = 1, \dots, T$ = Zeitintervall

v = Funktionstyp maschineller Anlagen

$w = 1, \dots, W$ = Werkstatt

$\delta = 1, \dots, \Delta$ = Intensitätsgrad

$\tau = 1, \dots, \Omega$ = (Ausstattungs-)Periode

4. Matrizen:

E = Einheitsmatrix

F = Direktverbrauchsmatrix

H = Matrix der Kapazitätsanteile für Umrüstung

O = Nullmatrix

Q = Matrix der Kapazitäten

R = Güterflußmatrix

S = Strukturmatrix

Einleitung: Gegenstand und Gang der Untersuchung

Beim gegenwärtigen Forschungsstand der Unternehmungstheorie erscheint nicht nur eine Weiterentwicklung der einzelnen Teiltheorien, sondern auch eine Erfassung ihrer Interdependenzen notwendig. Es ist eine Integration verschiedener Teiltheorien anzustreben. Während die Beziehungen zwischen Produktions- und Kostentheorie eingehend analysiert worden sind, liegen über die Interdependenzen der Produktionstheorie zu Finanz-, Investitions-, Beschaffungs-, Absatz- und Organisationstheorie lediglich einzelne Untersuchungen vor¹. Insbesondere die Verbindung zur Organisationstheorie ist bislang wenig analysiert worden². Dabei hat die Produktionstheorie durch die Berücksichtigung von Strukturkomponenten des Produktionsprozesses einen Stand erreicht, bei dem eine Untersuchung ihrer Beziehungen zur Organisationstheorie fruchtbar erscheint. Jedoch erweist es sich beim gegenwärtigen Entwicklungsstand beider Teiltheorien als notwendig, den Untersuchungsbereich auf die materiellen Realisationsprozesse der Produktion einzuschränken. Daraus werden in dieser Arbeit die Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und theoretischen Aussagen über die Organisation des Produktionsprozesses analysiert.

Den Ausgangspunkt einer Analyse zwischen theoretischen Aussagensystemen bildet die Kennzeichnung ihrer Betrachtungsgegenstände. Diese Gegenüberstellung der Betrachtungsgegenstände von Produktionstheorie und Organisationstheorie sowie der Struktur ihrer Aussagensysteme enthält Abschnitt A. Daraufhin werden in Abschnitt B die Grundlagen für eine Abbildung der Organisation des Produktionsprozesses formuliert. Hierzu ist es einerseits erforderlich, die wichtigsten Strukturmerkmale von Produktionsprozessen zu charakterisieren. Andererseits ist das statische betriebswirtschaftliche Input-Output-Modell zu einem dynamischen Ansatz weiterzuentwickeln, durch den die Strukturkomponenten des Produktionsprozesses abgebildet werden können.

Auf dieser Basis werden in den Abschnitten C und D Produktionsmodelle formuliert, welche die Interdependenzen zwischen produktionstheoretischen und organisatorischen Tatbeständen erfassen. Bei den Modellen von Abschnitt C wird die Struktur der Produktiveinheiten als gegeben und konstant unterstellt. Nach einer Kennzeichnung sowie Gegenüberstellung von Produktions-

¹ Vgl. Heinen [Kapital]; Heinen [Produktionstheorie] 53 ff.; Langen u. a. [Unternehmungsplanung] 81 ff.; Schneider, D. [Grundlagen] 337 ff.; Albach [Verbindung] 137 ff.

² Schweitzer [Verbindung] 24 ff.; Matthes [Probleme] 129 ff.; Berger [Betriebsgröße] 421 ff.

zeiten- und Produktionsmengenmodellen werden in diesem Abschnitt die Strukturmerkmale der produktions- und organisationstheoretischen Aussagen von Produktionsmengenmodellen herausgearbeitet. Ferner wird untersucht, welcher Einfluß vom Programm-, Organisations- und Vergenztyp der Unternehmung auf die Struktur dieses Aussagensystems ausgeht.

Abschnitt D weitet die Betrachtung aus, indem die Auswirkungen einer Veränderung des Bestands an maschinellen Anlagen sowie Arbeitskräften und ihrer gegenseitigen Zuordnung in die Analyse einbezogen werden. Die Formulierung eines umfassenden theoretischen Aussagensystems ergibt die Basis für eine Charakterisierung der Interdependenzen zwischen Bestand sowie Verwendung der maschinellen Anlagen bzw. Arbeitskräfte und Gütereinsatz, Güterausbringung sowie Produktionsablauf.

Abschließend gibt Abschnitt E einen Ausblick auf die Abbildung der Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und weiteren Komponenten der personalen Struktur des Unternehmungsprozesses. Dabei wird untersucht, auf welchem Wege der Einfluß von Kommunikations- und Leitungsbeziehungen in die Analyse einbezogen werden kann.

A. Gegenüberstellung der Betrachtungsgegenstände von Produktionstheorie und Organisationstheorie

I. Grundlegende Kennzeichnung der Betrachtungsgegenstände von Produktionstheorie und Organisationstheorie

1. Betrachtungsgegenstand der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie

In der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie werden die quantitativen Beziehungen zwischen dem Einsatz und der Ausbringung an Realgütern in Unternehmungen abgebildet¹. Als Realgüter bezeichnet man alle Güter, die nicht Geld bzw. Ansprüche auf Geld darstellen. Sie bilden „... die Objekte der produktiven Transformationsprozesse, so daß man auch von Produktionsgütern sprechen könnte“². Man erforscht die Regel- und Gesetzmäßigkeiten der Input-Output-Beziehungen zwischen Realgütermengen sowie der Bestimmungsgrößen, von denen die Ausprägung dieser Beziehungen abhängig ist. Die Produktionstheorie sollte ein System von nomologischen Hypothesen³ bilden, aus dem abgeleitet werden kann, welche effizienten empirischen Möglichkeiten des Einsatzes, der Kombination und Transformation von Realgütermengen zur Herstellung und Verwertung anderer Realgütermengen bestehen. Diese nomologischen Hypothesen werden formal durch Produktionsfunktionen wiedergegeben.

Der Umfang des Betrachtungsgegenstands der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie wird unterschiedlich abgegrenzt⁴. Eine enge Fassung des produktionstheoretischen Betrachtungsgegenstands bezieht den Begriff Produktion lediglich auf die Fertigung. Dagegen erstreckt er sich bei der hier zugrunde gelegten weiten Abgrenzung auch auf den Einsatz von materiellen und/oder immateriellen Realgütern zur Beschaffung und zum Absatz von Realgütern⁵.

¹ Gutenberg [Produktion] 298 ff.; Kilger [Produktionstheorie] 11 ff.; Laßmann [Produktionsfunktion] 17 ff.; Heinen [Kostenlehre] 118 ff. und 122; Bohr [Produktionstheorie] 5; Wittmann [Produktionstheorie] 1 ff.; Lücke [Produktionstheorie] 13 ff.; Pressmar [Leistungsanalyse] 85 ff.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 26 f. und 45 f.

² Kosiol [Aktionszentrum] 120.

³ Zu diesem Begriff vgl. Albert [Probleme] 50 ff.; Albert [Theoriebildung] 23 ff.

⁴ Zur Gliederung des Unternehmungsprozesses in Teilprozesse vgl. Kosiol [Organisation] 49 ff.; Grochla [Unternehmungsorganisation] 76 ff.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 41 f.

⁵ Vgl. Heinen [Kostenlehre] 118 ff.; Kosiol [Aktionszentrum] 109. Vgl. auch Kern [Produktionswirtschaft] 758 ff.; Kruschwitz [Produktionsbegriffe] 244 f.

Die in betrieblichen Produktionsprozessen hergestellten Realgüter bezeichnet man als Produkte. Zu ihnen gehören am Markt zu verwertende Fertig- und Endprodukte, weiterzuverarbeitende Halb- oder Zwischenprodukte sowie Abfallgüter⁶. Einsatzgüter und/oder Produkte der Unternehmung können insbesondere unbewegliche Sachgüter wie Gebäude und Maschinen, bewegliche Sachgüter wie Stoffe, Werkzeuge und Vorrichtungen sowie immaterielle Güter wie menschliche bzw. maschinelle Arbeit und Informationen sein⁷. Nach der Art ihres Verbrauchs⁸ kann man zwischen Verbrauchs- und Gebrauchsgütern unterscheiden⁹. Verbrauchs- oder Repetiergüter werden bei einmaliger Verwendung im Produktionsprozeß völlig verbraucht¹⁰. Derartige Güter sind insbesondere Stoffe sowie menschliche und maschinelle Arbeit. Gebrauchs- oder Potentialgüter sind mehrmals in Produktionsprozessen einsetzbar¹¹. Sie wirken am Produktionsprozeß durch die Abgabe von Leistungen mit und „... lassen sich als ein Reservoir künftiger Leistungsabgaben charakterisieren“¹². Ihre (immateriellen) Leistungsabgaben stellen Verbrauchsgüter dar. Die meisten Gebrauchsgüter werden durch den wiederholten Einsatz ihrer Leistungsabgaben auf Dauer verbraucht. Jedoch gibt es auch Gebrauchsgüter, deren Fähigkeit zur Leistungsabgabe durch die Verwendung im Produktionsprozeß nicht verzehrt wird¹³. Zu den nicht abnutzbaren Gebrauchsgütern können vor allem Grund und Boden¹⁴ sowie Informationen und Rechte gehören¹⁵.

Im Produktionsprozeß einer Unternehmung sind lediglich Güter einsetzbar, die bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Ein Gut muß zum einen für den Zweck des Produktionsprozesses technisch geeignet sein. Zum andern muß es vorhanden sowie rechtlich und faktisch verfügbar sein¹⁶. Damit ist entsprechende Verfügungsmacht des Betriebs vorausgesetzt. Sie ist zwar nicht mit den Verfügungsobjekten identisch, kommt aber stets in solchen zum Ausdruck¹⁷.

⁶ Wittmann [Produktionstheorie] 2.

⁷ Zu dieser Einteilung der Güterarten vgl. Kosiol [Aktionszentrum] 120 f.; Chmielewicz [Wirtschaftsgut] 86.

⁸ Im Unterschied zu Pressmar wird hier nicht zwischen Gütereinsatz, Güterverzehr und Güterverbrauch differenziert. Pressmar [Leistungsanalyse] 48 ff.

⁹ Vgl. Menrad [Kostenbegriff] 34 ff.

¹⁰ Kosiol [Wesensmerkmale] 17 f.

¹¹ Kosiol [Wesensmerkmale] 18; Menrad [Kostenbegriff] 35; Heinen [Kostenlehre] 191; Pressmar [Leistungsanalyse] 53; Steffen [Elementarfaktoren] 21.

¹² Menrad [Kostenbegriff] 35.

¹³ Pressmar nennt diese Einsatzgüter ‚Nutzungsfaktoren‘ und stellt sie den ‚Verbrauchsfaktoren‘ gegenüber, zu denen er Repetier- und Potentialfaktoren rechnet. Pressmar [Leistungsanalyse] 53 ff.

¹⁴ Pressmar [Leistungsanalyse] 55.

¹⁵ Zur weiteren Untergliederung der Gebrauchsgüter vgl. Menrad [Kostenbegriff] 37 ff.

¹⁶ Kosiol [Aktionszentrum] 112; Chmielewicz [Erfolgsplanung] 18.

¹⁷ Zum Problem einer Abgrenzung der Verfügungsmacht als eigenes immaterielles Gebrauchsgut vgl. Menrad [Kostenbegriff] 41 ff.

Wenn jedoch Umfang und Dauer des Einsatzes der Verfügungsmacht in Umfang und Dauer des Einsatzes der Verfügungsobjekte zum Ausdruck kommt, erscheint es nicht erforderlich, die Verfügungsmacht in productionstheoretischen Untersuchungen neben den Verfügungsobjekten als selbständiges Einsatzgut zu berücksichtigen.

Zur Kennzeichnung der Einsatzgüter und Produkte müssen die jeweilige Güterart und die während des Betrachtungszeitraums eingesetzten bzw. erzeugten Gütermengen angegeben werden. Eine präzise Analyse der Input-Output-Beziehungen umfaßt darüber hinaus die Zeitpunkte und die Orte von Gütereinsatz bzw. Güterausbringung. Die Güterart läßt sich bei materiellen Verbrauchsgütern durch die Angabe ihrer physikalischen, chemischen und/oder biologischen Eigenschaften in der Regel exakt beschreiben, während ihre Einsatz- oder Ausbringungsmenge in physikalischen Maßen oder in genormten Stückeinheiten ohne Schwierigkeiten meßbar ist¹⁸. Dagegen sind die Definition und Messung des Gütereinsatzes bei Potentialgütern umstritten¹⁹. Eine Messung ihres Gütereinsatzes durch den verwendeten Bestand²⁰ an materiellen Gebrauchsgütern bzw. Arbeitskräften²¹ ist problematisch, weil dasselbe Gebrauchsgut (zumindest) nacheinander in verschiedenen Teilprozessen verwendet werden kann²². Ferner besteht die Möglichkeit, daß ein Potentialgut verschiedenartige Verrichtungen und daß unterschiedliche Potentialgüter gleichartige Verrichtungen ausführen. Maßgeblich für die Gütererzeugung sind aber primär die Verrichtungsarten, durch die materielle oder immaterielle Güter bearbeitet, umgewandelt oder kombiniert werden. Die durch die Verrichtungen wirksam werdenden physischen oder geistigen Kräfte sowie die physikalischen, chemischen oder biologischen Umwandlungen führen zum Entstehen der Produkte. Für eine präzise Kennzeichnung des Produktionsprozesses erscheint es deshalb notwendig, die Leistungsabgaben der Potentialgüter in Form von Verrichtungen als Einsatzgut zu definieren. Die Leistungsabgaben werden als körperliche bzw. geistige menschliche Arbeit von Personen oder als maschinelle Arbeit von materiellen Gebrauchsgütern vollzogen.

In der Praxis mißt man die Einsatzmenge an menschlicher und maschineller Arbeit vielfach durch die Einsatzzeit. Diese ist nur dann ein eindeutiges Maß der Einsatzmenge, wenn die technischen Eigenschaften materieller Verbrauchsgüter bzw. die menschlichen Verhaltenseigenschaften und die Arbeits-

¹⁸ Vgl. Steffen [Elementarfaktoren] 30 ff.; Pressmar [Leistungsanalyse] 59 ff.

¹⁹ Vgl. Laßmann [Produktionsfunktion] 21 ff.; Jacob [Ertragsgesetz] 603; Gutenberg [Produktion] 318 ff.; Schneider, D. [Produktionstheorie] 225 f.; Schneider, D. [Grundlagen] 373 ff.; Schneider, D. [Investition] 531 ff.; Schmidt, R. [Kapazitätsplanung] 47 ff.; Pressmar [Leistungsanalyse] 65 ff.; Steffen [Elementarfaktoren] 68 ff.; Luhmer [Produktionsprozesse] 17 ff.

²⁰ Schneider, D. [Grundlagen] 373 ff.; Kloock [Input-Output-Modelle] 107 f.

²¹ Diese beiden stellen die wichtigsten Klassen von Potentialgütern in der Produktionstheorie dar. Daneben können auch Informationen und Rechte Potentialgüter sein.

²² Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 154 f.

geschwindigkeiten nicht variieren²³. Ändern sich die technischen bzw. die Verhaltenseigenschaften oder die Arbeitsgeschwindigkeit, so kann die Leistungsabgabe eines Gebrauchsgutes durch einen Vektor der Einsatzzeiten bei verschiedenen Verrichtungsarten mit jeweils konstanten Eigenschaften und Geschwindigkeiten wiedergegeben werden.

Faßt man menschliche und maschinelle Verrichtungsarten als Einsatzgüter auf, so ist der Verzehr bzw. die Veränderung der Potentialgüter selbst durch eine eigene Klasse theoretischer Aussagen abzubilden. Diese geben bei Arbeitskräften die Beziehungen zwischen deren Verfügbarkeit sowie Verhaltenseigenschaften und den von ihnen durchführbaren sowie bisher durchgeführten Verrichtungen an²⁴. Bei materiellen Gütern bilden sie die Beziehungen zwischen dem Bestand eines Gebrauchsgutes, seinen technischen Eigenschaften sowie seiner technisch möglichen Lebensdauer und den von ihm durchführbaren sowie im Zeitablauf bisher durchgeführten Verrichtungen ab.

Damit werden Vorschläge von Steffen und Luhmer modifiziert. Nach Steffen²⁵ ist die Leistungsabgabe materieller Gebrauchsgüter durch die Abbildung des technisch oder ökonomisch bedingten Anlagenverschleißes zu erfassen. Dabei müssen Verbrauchsfunktionen für die einzelnen Anlagenelemente entwickelt und Schätzungen ihrer Ausfallcharakteristiken durchgeführt werden.

Der Vorschlag von Luhmer²⁶ läuft darauf hinaus, die Änderung der technischen Eigenschaften einer Anlage, die von ihren momentanen Eigenschaften, der momentanen Inanspruchnahme und der momentanen Instandhaltung abhängen, als kurzfristiges Maß der Leistungsabgabe zu verwenden. Eine Messung oder Schätzung des in einem kurzen Zeitraum eingetretenen Anlagenverschleißes ist jedoch schwierig und aufwendig. Durch den Anlagenverschleiß wird der Verbrauch der Nutzungsmöglichkeit nicht erfaßt²⁷. Ferner wird der Anlagenverschleiß häufig nicht nur durch die Art der Mitwirkung an der Gütererstellung bestimmt. Aus diesen Gründen erscheint es zweckmäßiger, die Leistungsabgabe von Potentialgütern durch deren Einsatzzeiten bei alternativen Verrichtungsarten und Arbeitsgeschwindigkeiten operational zu messen. Dann bildet eine erste Klasse von Hypothesen die Beziehungen zwischen dem Output der Unternehmung und den Einsatzzeiten der Potentialgüter ab, während die Beziehungen zwischen diesen Einsatzzeiten und dem Verzehr bzw. der Veränderung der Potentialgüter durch eine zweite Klasse theoretischer Aussagen erfaßt werden.

²³ Laßmann [Produktionsfunktion] 22 f.; Steffen [Elementarfaktoren] 69 und 102.

²⁴ Dagegen empfiehlt Steffen zur Messung menschlicher Arbeit die Formulierung eines Maßes der Anspannung auf der Grundlage von analytischen Arbeitswerten. Steffen [Elementarfaktoren] 104 ff.; Steffen [Erfassung] 809 ff.

²⁵ Steffen [Elementarfaktoren] 72 ff.

²⁶ Luhmer [Produktionsprozesse] 100 ff.

²⁷ Vgl. Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 41.

Eine art- und mengenmäßige Kennzeichnung des Einsatzes und der Ausbringung von Informationen ist bislang nur auf der syntaktischen Ebene durchführbar. In betrieblichen Produktionsprozessen sind aber vor allem der semantische Gehalt und der pragmatische Bezug²⁸ von Informationen wichtig. Diese lassen sich nur klassifikatorisch erfassen²⁹.

2. Betrachtungsgegenstand der betriebswirtschaftlichen Organisationstheorie

Über den Betrachtungsgegenstand der betriebswirtschaftlichen Organisationstheorie bestehen unterschiedliche Auffassungen. Es werden vor allem zwei grundsätzliche Positionen vertreten. Nach der einen Auffassung, die man als „Strukturierungskonzeption“ bezeichnen kann, „... versteht man unter betriebswirtschaftlicher Organisation (Unternehmungsorganisation) die integrative Strukturierung der Leistungsprozesse in und zwischen Unternehmungen ...“¹. Den Begriff Organisation bezieht man dabei sowohl auf den Strukturierungsvorgang als auch auf die sich ergebende Ordnung². In der betriebswirtschaftlichen Organisationstheorie im Sinne dieser Strukturierungskonzeption sollen nomologische Hypothesen über betriebswirtschaftliche Konsequenzen von bewußt gestalteten Ordnungen der Elemente betrieblicher Prozesse formuliert und überprüft werden³.

Dagegen werden nach der „verhaltenswissenschaftlichen“ Konzeption⁴ zielgerichtete soziale Gebilde als Organisationen bezeichnet. „Die Betriebswirtschaft ist eine Organisation in diesem Sinne⁵.“ Man untersucht in erster Linie das Verhalten und Handeln der in Sozialgebilden tätigen Personen und Gruppen sowie die Bestimmungsgrößen menschlicher Verhaltensweisen. Hierbei wird auch den nicht bewußt gestalteten informalen Verhaltensweisen besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Bei dieser Konzeption ist die inhaltliche Fassung des Betrachtungsgegenstandes so weit angelegt, „... daß die *Theorie* der

²⁸ Zur Unterscheidung von syntaktischer, semantischer und pragmatischer Ebene vgl. Carnap [Semantics] 22 ff.; Stegmüller [Wahrheitsproblem] 41 ff.; Schreiber [Erkenntniswert] 47 ff.; Kramer [Information] 27 ff.

²⁹ Wild [Prozeßanalyse] 52.

¹ Schweitzer [Arbeitsanalyse] 89. Vgl. hierzu Kosiol [Organisation] 29; Schweitzer [Probleme] 20; Wild [Grundlagen] 30; Grochla [Unternehmungsorganisation] 13. Vgl. auch den ‚instrumentalen‘ Organisationsbegriff bei Hill/Fehlbaum/Ulrich [Organisationslehre] 17, der eine Reihe von Übereinstimmungen mit dem Organisationsbegriff der Strukturierungskonzeption aufweist.

² Kosiol [Organisation] 15; Grochla [Unternehmungsorganisation] 13.

³ Vgl. Wild [Organisationslehre] 160 ff.

⁴ Zu dieser Bezeichnung vgl. Kirsch/Meffert [Organisationstheorien] 10 und 22 ff.; Hill/Fehlbaum/Ulrich [Organisationslehre] 17 sprechen von einem ‚institutionalen‘ Organisationsbegriff. Zur Gegenüberstellung dieser Auffassungen vgl. auch Grochla [Organisation] 2846 ff.

⁵ Heinen [Einführung] 49. Vgl. auch Kirsch [Entscheidungsprozesse III] 26 ff.

Betriebswirtschaft (Unternehmung) und die Theorie der Organisation ineinander verschmelzen“⁶.

Die betriebswirtschaftliche Organisationstheorie bezieht sich nach der Strukturierungskonzeption auf einen engeren Betrachtungsgegenstand als nach der verhaltenswissenschaftlichen Konzeption. Sie befaßt sich lediglich mit den bewußt gestalteten Ordnungen in Unternehmungen und deren Konsequenzen. Die nicht gestalteten Tatbestände gehören nur insoweit zum Untersuchungsbereich, wie sie den Zusammenhang zwischen gestalteter Struktur und deren Konsequenzen beeinflussen. Nach der Strukturierungskonzeption ist die betriebswirtschaftliche Organisationstheorie eine Teiltheorie der Unternehmungstheorie und damit einer Organisationstheorie im Sinne der verhaltenswissenschaftlichen Konzeption.

Die inhaltliche Fassung von Begriffen ist von ihrer Zweckmäßigkeit und von Konventionen abhängig. Die Abgrenzung des Betrachtungsgegenstands einer Realtheorie wird vor allem davon bestimmt, inwieweit sich für den betrachteten empirischen Gegenstandsbereich Gesetzmäßigkeiten formulieren lassen. In dieser Untersuchung sollen Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und Organisationstheorie herausgearbeitet werden. Bei einer Abgrenzung des Betrachtungsgegenstands der Organisationstheorie nach der verhaltenswissenschaftlichen Konzeption müßten die Beziehungen zwischen einer Teiltheorie und der übergeordneten Unternehmungstheorie untersucht werden, wobei besonderes Gewicht auf den Einfluß menschlichen Verhaltens zu legen wäre. Hieraus ergäbe sich eine sehr weite Fassung des Untersuchungsbereichs, da die Beziehungen der Produktionstheorie zu allen anderen Teiltheorien und ihre Integration in die umfassende Unternehmungstheorie analysiert werden müßten. Geht man hingegen vom Organisationsbegriff der Strukturierungskonzeption aus, so betrifft die Untersuchung lediglich die wechselseitigen Beziehungen zwischen zwei Teiltheorien der Unternehmungstheorie. Eine derartige, weniger anspruchsvolle Fassung des Untersuchungsgegenstands verspricht gegenwärtig wissenschaftlich fruchtbare zu sein. Sofern es gelingt, zumindest teilweise eine Integration von Hypothesen über Input-Output-Beziehungen sowie über Strukturierungsmöglichkeiten und deren Konsequenzen durchzuführen, wird hiermit auch ein Beitrag zur Entwicklung der Unternehmungstheorie geleistet. Deshalb wird im folgenden unter Organisation die Strukturierung von Unternehmungsprozessen verstanden und die Formulierung sowie Überprüfung nomologischer Hypothesen über deren Konsequenzen als Betrachtungsgegenstand der betriebswirtschaftlichen Organisationstheorie aufgefaßt.

Die Strukturierung des Unternehmungsprozesses erfordert die Ordnung der Beziehungen zwischen den Elementen, die an ihm mitwirken. Der Unternehmungsprozeß setzt sich aus einer Vielzahl von Teilprozessen oder Aktionen zu-

⁶ Picot [Organisationsforschung] 82 (kursiv im Original).

sammen. Diese bestehen aus Verrichtungen, die von Subjekten unter Verwendung von Arbeitsmitteln an Objekten durchgeführt werden. Jeder einzelne (Teil-)Prozeß vollzieht sich an einem Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt und dauert eine gewisse Zeit⁷. Durch die gegenseitige Zuordnung der Elemente Subjekte, Arbeitsmittel und Objekte sowie der von, mit bzw. an ihnen durchgeführten Verrichtungen in Raum und Zeit wird der Unternehmungsprozeß strukturiert. Die Gesamtheit der im Unternehmungsprozeß herrschenden Beziehungen stellt seine Struktur dar⁸.

Durch die einzelnen Prozesse werden Handlungsziele erfüllt. Die aus der Zuordnung von Verrichtungen und Objekten in Raum und Zeit gebildeten Handlungsziele bezeichnet man als Aufgaben⁹. In der Realität sind Aufgaben nur insoweit beobachtbar, als sie in formellen Regelungen niedergelegt sind¹⁰. Demgegenüber weisen Prozesse einen wesentlich höheren Grad an Beobachtbarkeit auf¹¹. Daher erscheint es zweckmäßig, Prozesse als Ausgangspunkt organisatorischer Untersuchungen anzusehen, um einen hohen Grad an empirischer Überprüfbarkeit zu erreichen¹².

Zu dem Element Subjekt sind alle am Unternehmungsprozeß mitwirkenden Personen zu rechnen. Als Arbeitsmittel bezeichnet man die am Unternehmungsprozeß beteiligten Gegenstände, die nicht bearbeitet werden. Dabei handelt es sich vor allem um maschinelle Anlagen, um Werkzeuge, Vorrichtungen und Betriebsstoffe sowie um Informationen wie Rechenprogramme oder Algorithmen. Organisatorische Objekte sind „die Gegenstände, an denen sich das Handeln vollzieht ...“¹³. Wichtige Handlungsobjekte stellen Werkstoffe dar. Daneben können u. a. Arbeitsmittel sowie Personen und Betriebe (z. B. Lieferanten oder Kunden) Bearbeitungsgegenstand sein¹⁴. Objekte geistiger Prozesse sind Informationen¹⁵. Diese sind stets an Personen oder materielle Datenträger gebunden. Als wichtige Eigenschaften von Subjekten, Arbeitsmitteln und

⁷ Wild [Grundlagen] 95.

⁸ Schweitzer [Probleme] 22; Wild [Grundlagen] 94.

⁹ Kosiol [Organisation] 43; Grochla [Unternehmungsorganisation] 39.

¹⁰ Zur Problematik des Begriffs Aufgabe vgl. Langen [Organisationslehre] 455 ff. Der Behauptung von Wieck [Organisationslehre] 48, Aufgaben seien nicht beobachtbar, kann nicht voll zugestimmt werden. Stellenbeschreibungen und konkrete Handlungsanweisungen können Aufgaben wiedergeben.

¹¹ Jedoch sind nicht alle Prozesse beobachtbar. Insbesondere geistige Prozesse können nur in beschränktem Umfang beobachtet werden.

¹² Dieser Auffassung folgen Wild [Grundlagen] 89; Wieck [Organisationslehre] 45 ff. Schweitzer betont die Bedeutung von Arbeitsprozessen als Ausgangspunkt organisatorischer Untersuchungen in der Praxis. Schweitzer [Ablauforganisation] 2.

¹³ Wild [Grundlagen] 92.

¹⁴ Kosiol [Organisation] 50.

¹⁵ Man kann sie als zweckorientiertes Wissen bezeichnen, durch welches Sachverhalte in Gedanken oder Sprache abgebildet werden. Wittmann [Unternehmung] 14; Kramer [Information] 18 ff.; Coenberg [Kommunikation] 20; Berthel [Informationen] 28; Wild [Unternehmungsplanung] 119.

Objekten können Art- (oder Qualitäts-), Quantitäts-, Zeit- und Raummerkmale unterschieden werden.

Verrichtungen sind stets an die Elemente Subjekt, Arbeitsmittel und Objekt gebunden, von, mit und an denen sie vollzogen werden. Nach der behandelten Objektart kann man (mehr) körperliche, (mehr) geistige und gemischte Verrichtungen unterscheiden¹⁶. Aus der Art der Objektbehandlung ergibt sich eine Gliederung in die Verrichtungsarten der Zuführung (Beschaffung, Gewinnung), Umwandlung (Fertigung, Verarbeitung), Lagerung (Speicherung) und Verwertung (Absatz, Übermittlung)¹⁷. Ferner kann eine Verrichtung nach dem Phasenmerkmal als Planung, Realisation oder Kontrolle sowie nach dem Rangmerkmal als Entscheidung oder Ausführung genauer beschrieben werden¹⁸.

Organisation bedeutet die Gestaltung der Beziehungen zwischen den Elementen Subjekt, Arbeitsmittel, Objekt und Verrichtungen. Bislang hat sich keine einheitliche Gliederung der Beziehungsarten durchgesetzt¹⁹. Als grundlegende Beziehungsarten werden hier Gruppierungs-, Raum-, (zeitliche) Reihenfolge-, Arbeits-, Macht- und sozio-emotionale Beziehungen angesehen. Durch das Herausgreifen einer Beziehungsart wird eine Teilstruktur des Unternehmungsprozesses verdeutlicht. Da sich alle Teilstrukturen auf denselben Unternehmungsprozeß beziehen, bestehen zwischen ihnen enge Interdependenzen.

*Gruppierungsbeziehungen*²⁰ entstehen durch die sachliche Zuordnung von Elementen derselben Klasse, d. h. von Subjekten zu Subjekten, Arbeitsmitteln zu Arbeitsmitteln, Objekten zu Objekten und Verrichtungen zu Verrichtungen. Beispielsweise stellt ein Fertigungslos „eine Gruppe homogener Arbeitsobjekte ...“²¹ dar. Diese Beziehungsart lässt sich insbesondere durch die Gruppengröße, die Eigenschaften und die Gleichartigkeit bzw. Einheitlichkeit der Gruppelemente kennzeichnen²².

Raumbeziehungen folgen aus der räumlichen Anordnung der Elemente und werden durch Abstands- und Richtungsmaße wiedergegeben²³. Der Ort des Vollzugs von Verrichtungen wird vom Standort der Subjekte, Arbeitsmittel und Objekte bestimmt.

¹⁶ Kosiol [Organisation] 43; Wild [Grundlagen] 91 f.; Berthel [Informationen] 35.

¹⁷ Vgl. Kosiol [Aktionszentrum] 125 ff.; Berthel [Informationen] 80 und 93 ff.; Wieck [Organisationslehre] 84 ff.

¹⁸ Kosiol [Organisation] 53 ff. Auf die Möglichkeit, Rang und Phase als Gliederungsmerkmal von Verrichtungen aufzufassen, weist Wild [Grundlagen] 91 f.

¹⁹ Vgl. Kosiol [Organisation] 80 ff.; Wild [Grundlagen] 101 ff.; Grochla [Unternehmungsorganisation] 76 ff.; Schweitzer [Prozeßstrukturierung] 290 f.; Matthes [Grundmodell] 30 ff.

²⁰ Vgl. Stefanic-Allmayer [Organisationslehre] 122 ff.; Schweitzer [Prozeßstrukturierung] 290; Schweitzer [Ablauforganisation] 3.

²¹ Schweitzer [Probleme] 67.

²² Zur Bedeutung dieser Merkmale bei sozialen Gruppen vgl. z. B. Hofstätter [Gruppendynamik] 195; Hollander [Principles] 357 f.; Cartwright/Zander [Uniformity] 140 ff.

²³ Wild [Grundlagen] 106.

Zeitbeziehungen betreffen die von Subjekten und Arbeitsmitteln an Objekten durchgeführten Verrichtungen. Faßt man die Zeitdauer der Verrichtungen als Eigenschaften dieser Elemente auf, so kommen zeitliche Beziehungen in den *Reihenfolgen* der Verrichtungen zum Ausdruck. Sie geben an, ob Verrichtungen gleichzeitig oder zeitlich nacheinander vorgenommen werden. Reihenfolgebeziehungen bestehen zwischen allen Verrichtungsarten eines Unternehmungsprozesses.

Zur Durchführung des Unternehmungsprozesses müssen die Objekte nicht nur von einzelnen Subjekten und Arbeitsmitteln bearbeitet, sondern auch weitergegeben werden. Hierdurch entstehen Beziehungen zwischen den Subjekten und/oder Arbeitsmitteln, die im Anschluß an Kosiol²⁴ *Arbeitsbeziehungen* genannt werden. Sie gliedern sich in Transportbeziehungen für die Weitergabe körperlicher Gegenstände und Kommunikationsbeziehungen für die Übermittlung von Informationen. Die Ausprägung der Transportbeziehungen wird durch die Subjekte bzw. Arbeitsmittel, zwischen denen Objekte befördert werden müssen, die Art der beförderten Objekte, den Transportweg und die Transportmittel beschrieben. Sender und Empfänger von Informationen können sowohl Subjekte als auch Arbeitsmittel sein²⁵.

Machtbeziehungen können nur zwischen Subjekten bestehen. Sie stellen die „... Möglichkeit von Personen(-gruppen) (dar), auf das (die) Handlungsfeld(er) anderer Personen(-gruppen) einzuwirken“²⁶. Zur Kennzeichnung einer Machtbeziehung²⁷ sind der Machthaber und der Beeinflußte anzugeben. Die Ausprägung von Machtbeziehungen läßt sich ferner durch den Machtbereich, die Machtstärke und die Machtausdehnung beschreiben.

Zwischen den am Unternehmungsprozeß mitwirkenden Subjekten existieren des weiteren *sozio-emotionale Beziehungen*. Diese kennzeichnen die ge-

²⁴ Kosiol [Organisation] 147 ff.

²⁵ Cherry [Kommunikationsforschung] 260; Guetzkow [Communications] 534 ff.; Grochla [Unternehmungsorganisation] 113.

Zur Kennzeichnung von Kommunikationsbeziehungen vgl. Ackoff [Communication] 218; Albach [Entscheidungsprozeß] 378; Bartram [Kommunikation] 41 ff.; Berthel [Informationen] 27 ff.; Bössmann [Kommunikationsbeziehungen] 58 ff.; Cartwright [Contribution] 254 ff.; Coenenberg [Kommunikation] 20 ff.; Drumm [Elemente] 48 ff.; Grochla [Unternehmungsorganisation] 80 ff.; Kirsch [Entscheidungsprozesse II] 78 ff.; Kosiol [Organisation] 149; Mag [Kommunikationsstruktur] 22 ff.; Leavitt [Psychology] 228 ff.; Sommer [Bedeutung] 85 ff.

²⁶ Krüger [Macht] 5; Pohmer/Schweitzer [Macht] 81. Zum Machtbegriff vgl. Albert [Macht] 74; Bachrach/Baratz [Power] 24 ff.; Berle [Power] 60; Cartwright [Influence] 3 ff.; Chmielewicz [Betriebsverfassung] 7; Dahl [Concept] 201 ff.; Etzioni [Analysis] 4 ff.; French [Theory] 728 f.; French/Raven [Bases] 608 ff.; Holm [Macht] 269 ff.; Jones/Gerard [Foundation] 537 ff.; Kirsch [Entscheidungsprozesse III] 184 ff.; Pfiffner/Sherwood [Organization] 24 ff. und 329 ff.; Russel [Macht] 29; Steinmann [Großunternehmen] 157.

²⁷ Zur Kennzeichnung von Machtbeziehungen vgl. Dahl [Concept] 201 ff.; Harsanyi [Macht] 191 ff.; Krüger [Macht] 5 ff. und 17 ff.; Küpper [Mitbestimmung] 97 f. und 119 ff.; Pohmer/Schweitzer [Macht] 81 ff.

fühlsmäßigen Einstellungen, welche die Personen gegenseitig empfinden²⁸. Ihre Ausprägung kann durch formelle Regelungen nicht festgelegt werden. Sie kann jedoch durch Regelungen beeinflußt werden und wirkt sich auf deren ökonomische Konsequenzen aus.

Durch die Verknüpfung mehrerer grundlegender Beziehungen entstehen unter Berücksichtigung der betroffenen Verrichtungsarten komplexe Beziehungsarten. So können beispielsweise Leitungsbeziehungen als Verbindung von Gruppierungs-, Kommunikations- und Machtbeziehungen definiert werden, die sich auf Entscheidungs- und Kontrolltätigkeiten erstrecken²⁹.

Der Betrachtungsgegenstand der Organisationstheorie wird vielfach in die Bereiche Aufbau- und Ablauforganisation gegliedert³⁰. Für diese Differenzierung werden unterschiedliche Merkmale verwendet. Eine mögliche Abgrenzung besteht darin, daß man zur Aufbauorganisation „... institutionelle Probleme und Bestandsphänomene“³¹ rechnet, während die raumzeitlichen Arbeits- und Bewegungsvorgänge zur Ablauforganisation gehören. Entsprechend dieser Unterscheidung müßten z. B. die Bestände an unbeweglichen Sachgütern wie Maschinen, an beweglichen Gütern wie Stoffen sowie deren räumliche Anordnung zum Bereich der Aufbauorganisation gezählt werden. Dagegen liegen Transport- wie Kommunikationsbeziehungen raumzeitliche Übertragungsvorgänge zugrunde, so daß sie eigentlich der Ablauforganisation zugeordnet werden müßten³².

In enger Beziehung zu dieser Abgrenzung steht die Trennung in Potential- und Aktionsgefüge³³. Elemente des Potentialgefüges sind die Vorratspotentiale Mensch, Arbeitsmittel und Stoffvorrat sowie das Aufgabengefüge. Die komplexen Güterabgaben von Mensch, Arbeitsmittel und Stoffvorrat sowie deren Beziehungen bilden das Aktionsgefüge. „Das Potentialgefüge ... ist eine in der Zeit verharrende Substanz, die im Zeitablauf fortlaufender Veränderung unterliegt, sich aber dennoch in der Zeit erhält“³⁴. Die Veränderung des Potentialgefüges wird vor allem durch das Aktionsgefüge bewirkt. Potentiale und Aktionen bzw. Bestands- und Prozeßphänomene sind daher äußerst eng miteinander verbunden³⁵.

²⁸ Vgl. Cartwright/Zander [Properties of Groups] 490; Fäßler [Mitbestimmung] 126; Heinen [Zielsystem] 211; Küpper [Mitbestimmung] 110 f.; Ulrich [Unternehmung] 255; Walton/McKersie [Labor Negotiations] 184 ff.

²⁹ Vgl. Wild [Grundlagen] 109 f.; Kosiol [Organisation] 101 ff.; Wieck [Organisationslehre] 199 ff.

³⁰ Vgl. u. a. Acker [Organisationsanalyse] 30 ff.; Böhrs [Organisation] 51 ff. und 179 ff.; Kosiol [Organisation] 32 ff.; Hennig [Organisationslehre] 30 ff.; Nordsieck [Rationalisierung] 76 ff.; Schwarz [Betriebsorganisation] 19; Schweitzer [Probleme] 14 ff.

³¹ Kosiol [Organisation] 32 und 186 f.

³² Kosiol behandelt den Arbeitszusammenhang als Teilbereich der Aufbauorganisation. Bei dieser Betrachtung geht er nicht von der tatsächlichen Kommunikation, sondern von den ‚dauernden Verbindungswegen‘ aus. Kosiol [Organisation] 147.

³³ Schweitzer [Probleme] 14 ff.

³⁴ Schweitzer [Probleme] 16.

³⁵ Schweitzer [Probleme] 17.

Eine weitere Abgrenzung zwischen Aufbau- und Ablauforganisation gründet sich auf die Unterscheidung von Handlungszielen und Vorgängen der Zielerreichung. Nach ihr befaßt sich die Aufbauorganisation mit Aufgaben als „... Zielsetzungen für sachbezogene menschliche Handlungen ...“³⁶. Dabei werden meist durch die Vorgabe eines Handlungszieles nicht alle Bestimmungselemente des zu seiner Verwirklichung notwendigen Prozesses festgelegt³⁷. Dann bildet das Aufgabengefüge einen „... Aktionsrahmen der menschlichen Handlungen in der Unternehmung ...“³⁸. Handlungsziele können sowohl für Bestands- wie für Prozeßphänomene vorgegeben werden.

Ohne die Begriffe Aufbau- und Ablauforganisation zu verwenden, differenziert Grochla zwischen materiellen und informationellen Beziehungen in der Unternehmung. „Die materiellen Beziehungen konkretisieren sich in dem Austausch körperlicher Objekte zwischen den verschiedenen Aktionseinheiten“³⁹. Sie bilden den Realisationsprozeß, in dessen Mittelpunkt die „... temporale und lokale Koordination der ... Aktionseinheiten“⁴⁰ steht. Jedoch weisen auch informationelle Prozesse wie Entscheidungs- oder Planungsprozesse eine zeitliche (und räumliche) Struktur auf, deren Ausprägung in begrenztem Ausmaß formell geregelt werden kann⁴¹.

Die Verwendung unterschiedlicher Abgrenzungsmerkmale zwischen Aufbau- und Ablauforganisation sowie die mangelnde Übereinstimmung und Eindeutigkeit der Einteilungen weisen auf den engen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Elementen und Beziehungsarten des Unternehmungsprozesses hin. Bei jeder Art der Abgrenzung wird derselbe einheitliche Gegenstand gedanklich unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet⁴². Eine eindeutige, umfassende und einheitliche Trennung in Tatbestände der Aufbau- und der Ablauforganisation hat sich nicht durchgesetzt. Deshalb lässt sich nur schwerpunktmäßig angeben, welche Tatbestände (vor allem in der Praxis) eher zur Aufbau- oder zur Ablauforganisation gerechnet werden. Zum Betrachtungsgegenstand der Aufbauorganisation zählt man in erster Linie die hierarchische Gliederung der Unternehmung in Stellen, Abteilungen und Bereiche, die Bildung von Stäben und Kollegien, die Verteilung der wichtigsten Aufgabengebiete sowie die Gestaltung der Leitungs- und Kommunikationsbeziehungen⁴³. Dagegen wird die raumzeitliche Gestaltung des materiellen Realisations-

³⁶ Kosiol [Organisation] 43.

³⁷ Langen [Organisationslehre] 461; Kosiol [Organisation] 44; Wieck [Organisationslehre] 48.

³⁸ Schweitzer [Probleme] 18.

³⁹ Grochla [Unternehmungsorganisation] 120.

⁴⁰ Grochla [Unternehmungsorganisation] 121.

⁴¹ Grochla [Unternehmungsorganisation] 121.

⁴² Kosiol [Organisation] 32.

⁴³ Vgl. Kosiol [Organisation] 76 ff.; Kosiol [Aufbauorganisation] 180 ff.; Bleicher [Zentralisation] 52 ff.; Schweitzer [Probleme] 36 f. und 57 ff.; Schweitzer [Ablauforganisation] 2; Lehmann [Aufbauorganisation] 290 ff.

prozesses, welche insbesondere die Bestimmung von Los- und Chargengrößen, die Arbeitsverteilung sowie die Festlegung und Abstimmung von Gangfolgen umfaßt, als typischer Bereich der Ablauforganisation angesehen⁴⁴.

II. Vergleichende Analyse der Betrachtungsgegenstände von Produktionstheorie und Organisationstheorie

Ein Vergleich der Betrachtungsgegenstände von Produktionstheorie und Organisationstheorie kann sich umfangmäßig auf die in beiden Bereichen abzubildenden Teilprozesse der Unternehmung erstrecken. Ferner ist zu untersuchen, inwieweit gleichartige Merkmale des Unternehmungsprozesses erfaßt werden oder Tatbestände der einen Teiltheorie im Hypothesensystem der anderen Teiltheorie als Bestimmungsgrößen auftreten können. Hieraus ergeben sich die Ansatzpunkte für eine Verknüpfung dieser Teiltheorien.

1. Der Produktionsprozeß als Ansatzpunkt für eine Verbindung von Produktionstheorie und Organisationstheorie

Zum Betrachtungsgegenstand der betriebswirtschaftlichen Organisationstheorie gehören alle Teilprozesse bzw. Aktionen der Unternehmung, deren Beziehungen bewußt gestaltet werden können. Differenziert man die Prozesse nach dem Bearbeitungsobjekt, so erstreckt sich ihr Betrachtungsgegenstand auf körperliche und geistige sowie auf Realgüter- und Nominalgüterprozesse. In der Produktionstheorie werden lediglich Beziehungen zwischen Realgütern abgebildet. Bei diesen kann es sich um körperliche Objekte wie Sachgüter sowie körperliche Arbeit oder um geistige Objekte wie Informationen handeln. Demnach ist der Betrachtungsgegenstand der Organisationstheorie in bezug auf die Erfassung von Nominalgüterprozessen weiter. Legt man den weiten Begriff der Produktion zugrunde, so beziehen sich Produktionstheorie wie Organisationstheorie auf Teilprozesse der Zuführung, Umwandlung, Lagerung und Verwertung von Realgütern. Hierbei erstrecken sich die Betrachtungsgegenstände beider Teiltheorien auf Planungs-, Realisations- und Kontrollprozesse sowie auf Entscheidungs- und Ausführungsprozesse. Aus der vorgenommenen Definition ihrer Betrachtungsgegenstände folgt somit, daß der Produktionsprozeß den gemeinsamen Gegenstand von Produktions- und Organisations-theorie bildet.

Unterschiede ergeben sich hinsichtlich der Beziehungsarten, über die theoretische Aussagen formuliert werden. Die mengenmäßigen Beziehungen zwis-

⁴⁴ Kosiol [Organisation] 185 ff.; Schweitzer [Probleme] 14 f. und 93 ff.; Schweitzer [Prozeßstrukturierung] 290 ff.; Schweitzer [Arbeitsanalyse] 91 ff.; Schweitzer [Arbeits-synthese] 136 ff.; Schweitzer [Ablauforganisation] 2 ff.; Witte [Ablauforganisation] 24 ff.

schen Realgütereinsatz und -ausbringung stellen eine Beziehungsart dar, die nur teilweise der bewußten Gestaltung unterliegen kann.

Die Organisationstheorie befaßt sich sowohl mit den Beziehungen zwischen Potentialen als auch mit den Beziehungen zwischen den von Potentialen an Objekten vollzogenen Verrichtungen. Die Produktionstheorie ist auf die Prozesse der Güter- (bzw. Objekt-)erstellung und -verwertung ausgerichtet. Damit werden in ihr primär die Beziehungen zwischen den Leistungsabgaben von Potentialen und der Transformation von Objekten untersucht. Die Beziehungen zwischen den Potentialen selbst sind erst sekundär als Bestimmungsgrößen der Input-Output-Beziehungen maßgebend. Deshalb werden insbesondere Machtbeziehungen in der Produktionstheorie nicht analysiert. Gruppierungsbeziehungen zwischen Subjekten, Arbeitsmitteln oder Objekten finden in productionstheoretischen Aussagen insoweit Berücksichtigung, als sie für die Kapazität der Gebrauchsgüter (z. B. Werkstattgröße, Schichtstärke) bzw. die Zahl der Rüstprozesse (z. B. Fertigungslosgröße) bestimmd sind.

Die Strukturierung des Produktionsprozesses erfolgt durch die raum-zeitliche Zuordnung von Subjekten und Arbeitsmitteln sowie der von ihnen durchzuführenden Verrichtungen an Objekten. Im Hinblick auf den einzelnen Teilprozeß ist dabei aus organisatorischer Sicht maßgeblich, welche Güterarten einander an einem Ort zu einem Zeitpunkt zugeordnet werden. Damit werden die räumlichen und zeitlichen Beziehungen zwischen den organisatorischen Elementen Subjekt, Arbeitsmittel, Objekt und Verrichtung strukturiert. Im Vordergrund der productionstheoretischen Analyse steht hingegen die Frage, welche Mengen dieser Güterarten eingesetzt bzw. erstellt werden. Der einzelne Teilprozeß wird in der Produktionstheorie auf seine mengenmäßigen Güterbeziehungen zwischen Einsatz sowie Ausbringung und in der Organisationstheorie auf seine raum-zeitlichen Beziehungen hin untersucht. Beide Teiltheorien erfassen demnach unterschiedliche Aspekte desselben Gegenstands.

Darüber hinaus bildet die Strukturierung der Beziehungen zwischen den verschiedenen Teilprozessen einen wichtigen Betrachtungsgegenstand der Organisationstheorie. Aus ihm folgt die Existenz und Ausprägung der Arbeitsbeziehungen zwischen Subjekten sowie Arbeitsmitteln. Auch in der Produktionstheorie werden nicht nur Aussagen über die Input-Output-Beziehungen der einzelnen Teilprozesse, sondern des gesamten Produktionsprozesses der Unternehmung formuliert. Damit ist auch für sie die Verknüpfung der Teilprozesse wichtig.

Diese Gegenüberstellung zeigt, daß sich die Betrachtungsgegenstände von Produktions- und Organisationstheorie in einem großen Bereich auf dieselben Prozesse erstrecken. Deshalb kann man davon ausgehen, daß die von Produktions- bzw. Organisationstheorie untersuchten Beziehungsarten in enger Verbindung zueinander stehen. Es erscheint wissenschaftlich fruchtbar und notwendig, die Interdependenzen zwischen diesen Teiltheorien zu analysieren

und Ansätze eines integrierten produktions- und organisationstheoretischen Aussagensystems zu entwickeln.

Eine Einschränkung des umrissenen Untersuchungsbereichs ergibt sich jedoch durch den gegenwärtigen Entwicklungsstand von Produktionstheorie und Organisationstheorie. Der Versuch einer Integration ihrer Aussagen scheint insbesondere in den Bereichen erfolgversprechend, die in jeder der beiden Teiltheorien untersucht worden sind.

Im Rahmen der Organisationstheorie lassen sich mehrere Schwerpunkte der bisherigen Forschung hervorheben¹. Ein Schwerpunkt der traditionalen Organisationslehre liegt in der Untersuchung ‚aufbauorganisatorischer‘ Tatbestände². Man analysiert neben den Grundlagen der Aufgabenanalyse und -synthese insbesondere das hierarchische Leitungssystem der Unternehmung, für welches Gruppierungs-, Kommunikations- und Machtbeziehungen bestim mend sind. Ferner werden Merkmale und Konsequenzen verschiedener Organisationskonzeptionen herausgearbeitet. Dabei werden bevorzugt Planungs-, Kontroll- und Entscheidungsprozesse gekennzeichnet. Diese Forschungsrichtung hat vor allem zur begrifflichen Analyse von Organisationstatbeständen und zur Entwicklung praktisch anwendbarer Strukturierungskonzeptionen beigetragen. Dagegen sind nur in geringem Umfang nomologische Hypothesen formuliert und empirisch überprüft worden³.

Die verhaltenswissenschaftliche Organisationstheorie⁴ befaßt sich mit dem menschlichen Verhalten in sozialen Gebilden. In ihr sind zahlreiche Einzelhypothesen aufgestellt und empirisch getestet worden, während „... es an einem zusammenhängenden theoretischen Aussagensystem fehlt“⁵. Diese Forschungsrichtung ist insbesondere von der Betriebssoziologie, der Betriebsp sychologie und der Organisationssoziologie befruchtet worden. Damit ist zu erklären, warum in erster Linie Aussagen über soziologisch relevante Merkmale vorliegen⁶. Ferner befaßt sich eine Reihe empirischer Untersuchungen, deren ökonomischer Bezug größer ist, mit dem Einfluß von Fertigungstechnologie, Betriebsgröße, Umwelt und sonstigen Größen auf die Organisation der Un-

¹ Vgl. zum folgenden Grochla [Organisationstheorie] 2897 ff.; vgl. ferner Kirsch/Meffert [Organisationstheorien] 18 ff.; Hoffmann/Bühner [Organisationsgestaltung] 17 ff.

² Vgl. z. B. Hennig [Organisationslehre]; Kosiol [Organisation]; Nordsieck [Rationalisierung]; Ulrich [Organisationslehre]; Baumgartner [Project Management]; Dale [Management]; Grochla [Unternehmungsorganisation] 181 ff.; Likert [Management]; Odiorne [Management]; Schröder [Project-Management]; Solomons [Performance]; Stein/Ryan [Management]; Wild [Produkt Management].

³ Schweitzer [Kooperationsformen] 252 f.

⁴ Vgl. z. B. Argyris [Personality]; Barnard [Functions]; Bavelas [Communication Patterns]; Blake/Mouton [Managerial Grid]; Fiedler [Theory]; Herzberg/Mausner/Snyderman [Motivation]; Leavitt [Psychology]; March/Simon [Organizations]; Maslow [Motivation]; McGregor [Enterprise].

⁵ Grochla [Organisationstheorie] 2901.

⁶ Schweitzer [Kooperationsformen] 254; vgl. aber auch Klis [Überzeugung]; Kirsch [Entscheidungsprozesse III]; Küpper [Mitbestimmung] 116 ff.

ternehmung⁷ bzw. mit Ablauf und Ergebnis menschlicher Entscheidungsprozesse⁸.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt in der Analyse des raum-zeitlichen Vollzugs von Produktionsprozessen⁹. Zur Lösung verschiedenartiger Ablaufprobleme ist eine große Zahl entscheidungslogischer Kalküle entwickelt worden. Dabei wird der Bedeutung nomologischer Hypothesen für die Erklärung und Gestaltung des Ablaufs materieller Realisationsprozesse gegenüber den Kalkülproblemen wenig Beachtung geschenkt. Entscheidungslogische Beiträge leisten ferner die Spieltheorie¹⁰, die Teamtheorie¹¹ und die Theorie der Lenkungspreise¹². Schließlich stellen die Analyse von Informationssystemen¹³ und die Formulierung systemtheoretisch-kybernetischer Modelle¹⁴ wichtige Schwerpunkte der Organisationsforschung dar.

Das Aussagensystem der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie beschränkt sich bisher weitgehend auf materielle Realisationsprozesse. Der Schwerpunkt liegt auf der Analyse des Fertigungsprozesses materieller Güter. Die Input-Output-Beziehungen zu Beschaffung und Absatz werden nur in begrenztem Maße einbezogen. Der Einsatz und die Ausbringung von Informationen werden aufgrund des ungelösten Meßproblems nicht erfaßt. Aus diesem Grund ist eine produktionstheoretische Analyse von Planungs- und Kontrollprozessen sowie von Entscheidungsprozessen gegenwärtig kaum möglich.

Die neuere Entwicklung der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie ist durch die Untersuchung einzelner Teilprozesse¹⁵ und die Berücksichtigung

⁷ Vgl. z. B. Blau/Schoenherr [Organizations]; Child [Structure]; Kieser [Umwelt]; Kieser [Organisationsstruktur]; Lawrence/Lorsch [Organization]; Schiller [Technologie]; Woodward [Organization].

⁸ Witte [Entscheidungsverläufe]; Witte [Phasen-Theorem]; [Informationsverhalten]; Grün [Lernverhalten]; Bronner [Entscheidung].

⁹ Zum Überblick vgl. Ellinger [Ablaufplanung]; Schweitzer [Probleme]; Kern [Optimierungsverfahren]; Hoss [Fertigungsablaufplanung]; Conway/Maxwell/Miller [Scheduling]; Mensch [Ablaufplanung]; Müller-Merbach [Reihenfolgen]; Ashour [Sequencing Theory]; Hahn, R. [Produktionsplanung]; Siegel [Maschinenbelegungsplanung]; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung]; Baker [Introduction].

¹⁰ Vgl. Luce/Raiffa [Games]; v. Neumann/Morgenstern [Spieltheorie]; Shubik [Incentives]; Shapley [Games].

¹¹ Hax, H. [Koordination] 19 ff.; Marshak [Theorie of Teams]; McGuire [Team Models]; Radner [Application].

¹² Vgl. z. B. Adam [Kostenbewertung] 173 ff.; Albach [Lenkpreise] 216 ff.; Drumm [Lenkung] 253 ff.; Hax, H. [Koordination] 129 ff.; Poensgen [Geschäftsberichtsorganisation] 457 ff.

¹³ Vgl. z. B. Grochla [Automation]; Grochla [Einfluß]; Grochla u. a. [Gesamtmodelle]; McKinsey & Co. [Einsatz]; Kubicek [Informationstechnologie].

¹⁴ Vgl. z. B. Baetge [Systemtheorie]; Flik [Organisation]; Fuchs [Systemtheorie]; Grochla [Systemtheorie]; Kast/Rosenzweig [Organization]; Katz/Kahn [Organizations]; Mirow [Kybernetik]; Ulrich [Unternehmung].

¹⁵ Vgl. z. B. Gutenberg [Produktion] 326 ff.; Kilger [Produktionstheorie] 53 ff.; Lücke [Produktionstheorie] 110 ff.; Heinen [Kostenlehre] 220 ff.; Pressmar [Leistungsanalyse] 118 ff. und 229 ff.

der strukturellen Verflechtungen zwischen diesen Teilprozessen¹⁶ gekennzeichnet. Dabei wird die Abhängigkeit der Input-Output-Beziehungen von einer Reihe verschiedener Einflußgrößen analysiert¹⁷. Ferner wird in mehreren Ansätzen versucht, zeitliche Beziehungen zu berücksichtigen und auf ein dynamisches Aussagensystem überzugehen¹⁸.

Vergleicht man die Forschungsschwerpunkte von Organisations- und Produktionstheorie, so besteht das größte Maß an Übereinstimmung ihrer Forschungsgegenstände bei den materiellen Realisationsprozessen der Produktion. Daher bietet es sich an, die produktionstheoretischen Ansätze zur Erfassung der Produktionsstruktur mit organisatorischen Ansätzen über die raumzeitliche Strukturierung des Produktionsprozesses zu verbinden. Eine Analyse der Interdependenzen beider Teiltheorien in bezug auf informationelle Prozesse wie Planungs- und Kontrollprozesse oder Entscheidungsprozesse erscheint beim gegenwärtigen Forschungsstand der Produktionstheorie nur begrenzt möglich. Deshalb läßt sich eine Verbindung zwischen dem Leitungssystem der Unternehmung mit den hierin maßgeblichen Gruppierungs-, Kommunikations- sowie Machtbeziehungen und den Input-Output-Beziehungen des materiellen Realisationsprozesses ohne vertiefte empirische Erhebungen kaum vornehmen.

In den Mittelpunkt dieser Arbeit wird aus diesen Gründen die Analyse der Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und der Organisation des Produktionsprozesses gestellt. Dabei steht der materielle Realisationsprozeß der Fertigung im Vordergrund der Betrachtung, dessen Beziehungen zum Beschaffungs- und zum Absatzbereich ansatzweise berücksichtigt werden.

2. Die Abgrenzung der kleinsten Betrachtungseinheit in Produktionstheorie und Organisationstheorie

Die enge Verbindung zwischen den Betrachtungsgegenständen von Produktionstheorie und Organisationstheorie wird an dem Problem deutlich, wie tief der Unternehmungsprozeß für die theoretische Analyse gegliedert werden soll. Für die Abgrenzung von ‚Elementarprozessen‘ als kleinsten Betrachtungseinheiten der Produktionstheorie werden mehrere Merkmale vorgeschlagen. Nach

¹⁶ Vgl. Heinen [Kostenlehre] 262 ff.; Kloock [Input-Output-Modelle] 50 ff.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 46 ff.

¹⁷ Vgl. insb. Gutenberg [Produktion] 329 ff. und 354 ff.; Heinen [Kostenlehre] 264 ff.; Laßmann [Erlösrechnung] 76 ff.; Franke [Betriebsmodelle] 38 ff.; Steffen [Elementarfaktoren] 129 ff.

¹⁸ Förstner/Henn [Produktionstheorie] 32 ff.; Lücke [Produktionstheorie] 310 ff.; Zierul [Arbeit] 95 ff.; Luhmer [Produktionsprozesse] 46 ff.; Stöppler [Produktionstheorie] 24 ff.

Heinen¹ ist der Produktionsprozeß so tief zu gliedern, bis sich für Elementarprozesse eindeutige Beziehungen zwischen Gütereinsatz und technisch-physikalischer Leistung sowie zwischen technisch-physikalischer Leistung und der Güterausbringung als ökonomischer Leistung feststellen lassen. Entsprechend fordert Pressmar eine Untergliederung „... in technisch selbständige Einheiten, die im wesentlichen dem Kausalzwang der Naturgesetze unterliegen“². Hieraus folgt, daß innerhalb eines Elementarprozesses keine Zwischenlager auftreten dürfen, weil sonst „... die Eindeutigkeit der zu beschreibenden Abhängigkeitsstruktur verloren gehen (würde)“³. Ferner soll in jedem Elementarprozeß zu einem Zeitpunkt nur eine Produktart gefertigt werden, sofern keine Kuppelproduktion vorliegt⁴. Schließlich hat die Zerlegung dem Invarianzprinzip zu genügen, nach dem der Aussagegehalt des Hypothesensystems unverändert bleibt, wenn die funktionalen Beziehungen der Elementarprozesse „... nach einem bestimmten Kalkül zu einer Gesamtproduktionsfunktion aggregiert werden“⁵.

Bei der Erzeugung materieller Güter werden physikalische, chemische und/oder biologische Gesetzmäßigkeiten ausgenutzt. Daher erscheint für den Einsatz und die Herstellung materieller Güter die Vermutung berechtigt, daß durch eine entsprechend tiefe Gliederung des Fertigungsprozesses diese technischen Gesetzmäßigkeiten erkennbar werden. Jedoch kann man annehmen, daß menschliches Verhalten nicht in gleichem Maße gesetzmäßig determiniert ist. Deshalb ist es fraglich, ob sich bei entsprechend tiefer Gliederung des Produktionsprozesses eindeutige Beziehungen zwischen menschlichem Arbeitseinsatz und Güterausbringung entdecken lassen⁶. Vielmehr ist nicht auszuschließen, daß Regelmäßigkeiten menschlichen Verhaltens stets statistischen Charakter haben und eher bei zusammengesetzten größeren Teilprozessen als bei sehr eng abgegrenzten Elementarprozessen bestehen. Die Abgrenzung der Elementarprozesse, für die nomologische Hypothesen formulierbar sind, bildet daher nicht die Voraussetzung, sondern ein Ergebnis der theoretischen Analyse⁷.

Nach der traditionalen Organisationslehre ist die Gesamtaufgabe der Unternehmung mithilfe der Merkmale Verrichtung, Objekt, Phase, Rang und Zweckbeziehung so weit zu zerlegen, bis jede Teilaufgabe niedrigster Ordnung einem

¹ Heinen [Kostenlehre] 221. Er spricht von ‚Elementarkombinationen‘. Diese Forderungen übernimmt Kloock [Input-Output-Modelle] 43; vgl. ferner Gälweiler [Produktionskosten] 32; Steffen [Elementarfaktoren] 24.

² Pressmar [Leistungsanalyse] 34.

³ Steffen [Elementarfaktoren] 25.

⁴ Kloock [Input-Output-Modelle] 63; Steffen [Elementarfaktoren] 25.

⁵ Kloock [Input-Output-Modelle] 43 f.; vgl. hierzu Adam/Roppert [Leistungsverrechnungen] 7.

⁶ Vgl. auch Reichwald [Arbeit] 153 ff.

⁷ Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 40.

Aufgabenträger zugeordnet werden kann⁸. In der reinen Arbeitsanalyse werden diese Teilaufgaben weiter in Arbeitsteile zerlegt⁹. Die kleinsten Arbeitsteile bilden Vorgangselemente, „... die weder in ihrer Beschreibung noch in ihrer zeitlichen Erfassung weiter unterteilt werden können“¹⁰. Derartige Arbeitsteile niedrigster Ordnung stellen Teilprozesse dar, für welche die Zuordnung auf Subjekte sowie der Ort und Zeitpunkt ihres Vollzugs noch nicht festliegen¹¹. Zweck der Arbeitsanalyse ist es, „... einen Überblick über alle analytischen Arbeitsteile beliebiger Ordnung zu geben, um alle Möglichkeiten der *synthetischen Strukturierung* von Arbeitsprozessen offenhalten zu können“¹².

Zwischen den Forderungen zur Zerlegung des Unternehmungsprozesses in Produktionstheorie und Organisationslehre besteht eine wichtige Übereinstimmung. In der Produktionstheorie sollen durch eine entsprechend tiefe Gliederung die zur Gütererzeugung genutzten Gesetzmäßigkeiten sichtbar gemacht werden. Damit wird zugleich verdeutlicht, welche Tatbestände nicht durch Gesetzmäßigkeiten determiniert sind und daher vom Entscheidungsträger strukturiert werden können. Die produktionstheoretischen und die organisatorischen Forderungen für die Tiefe der Gliederung des Unternehmungsprozesses laufen somit auf das sachlich übereinstimmende Ergebnis hinaus, einerseits die Gesetzmäßigkeiten und andererseits den Strukturierungsspielraum im Unternehmungsprozeß abzubilden. Ein Vorgangselement als Arbeitsteil niedrigster Ordnung stellt daher zugleich einen produktionstheoretischen Elementarprozeß dar. In ihm werden Verrichtungen als Leistungsabgaben von Subjekten¹³ und Arbeitsmitteln zur Bearbeitung von Werkstoffen als organisatorischen Objekten unter Verwendung sonstiger Arbeitsmittel kombiniert, um bearbeitete Objekte als Produkte hervorzubringen.

In der Organisationspraxis wird häufig keine derart tiefgehende Gliederung bis zu Vorgangselementen durchgeführt. Man erachtet es als ausreichend, „... daß bei einem gewählten Grad der Arbeitsteilung nur die Arbeitsteile höchster Ordnung, die einem Arbeitssubjekt zugeordnet werden können, in die Arbeitssynthese einbezogen werden“¹⁴. Der aus Vorgangselementen bestehende Arbeitsgang bildet den Ansatzpunkt für die Strukturierung des Arbeitsprozesses¹⁵. Er stellt einen raum-zeitlich abgeschlossenen Arbeitsteil oder Teilprozeß dar, der zur Erfüllung einer Aufgabe von einer Person oder Personengruppe¹⁶

⁸ Kosiol [Organisation] 45 ff.

⁹ Kosiol [Organisation] 189 ff.

¹⁰ REFA [Arbeitsstudium 1] 75 (im Original fett gedruckt).

¹¹ Wild [Grundlagen] 118.

¹² Kosiol [Organisation] 192 (kursiv im Original).

¹³ Dabei ist nur die Art der Verrichtung und nicht das sie ausführende individuelle Subjekt oder Arbeitsmittel festgelegt.

¹⁴ Schweitzer [Probleme] 48.

¹⁵ Kosiol [Organisation] 200.

¹⁶ REFA [Arbeitsgestaltung] 50.

an einem Objekt unter Verwendung von Arbeitsmitteln vollzogen wird¹⁷. Ein Arbeitsgang ist abgeschlossen, „... wenn das gesetzte Ziel erreicht ist und der Arbeitsträger in eine Ausgangssituation für weitere gleich- oder andersartige Arbeitsteile zurückgekehrt ist“¹⁸. Auf eine bewußte Regelung seiner Vorgangselemente wird verzichtet, wenn z. B. der Ausführung einzelner Handgriffe keine wesentliche ökonomische Bedeutung beigemessen wird¹⁹.

Der sachliche Umfang eines Arbeitsganges richtet sich nach dem Grad der Arbeitsteilung in einer Unternehmung. Er wird von der angewandten Produktionstechnologie, der verfügbaren Zahl an Arbeitskräften und Arbeitsmitteln sowie von deren Leistungsfähigkeit bestimmt²⁰. Deshalb müssen einander entsprechende Arbeitsgänge nicht in allen Unternehmungen dieselbe Anzahl von Vorgangselementen umfassen.

Da die Arbeitsgänge in der Praxis üblicherweise den Ansatzpunkt für die Organisation des Produktionsprozesses bilden, stellen sie bei einer Berücksichtigung der Produktionsstruktur in produktionstheoretischen Aussagensystemen eine wichtige Betrachtungsebene dar. Man erhält somit (mindestens) drei Betrachtungsebenen des Produktionsprozesses. Auf der untersten Ebene befinden sich die Elementarprozesse oder Vorgangselemente, die durch technische Gesetzmäßigkeiten bestimmt und nicht weiter zerlegbar sind. Aus ihnen setzen sich die Arbeitsgänge als Teilprozesse der zweiten Ebene zusammen. Durch Aggregation der Arbeitsgänge gelangt man zur dritten Ebene des gesamten Produktionsprozesses.

Die Tiefe der Gliederung des Produktionsprozesses ist auch vom angestrebten Präzisionsgrad der theoretischen Aussagen abhängig. Vielfach schwanken die Gütereinsätze eines Arbeitsganges nur in begrenztem Maße um einen Durchschnittswert. Dann lassen sich produktionstheoretische Aussagen über die Input-Output-Beziehungen eines Arbeitsganges aufstellen, deren Präzisionsgrad den Anforderungen der Praxis entspricht. Diese Aussagen lassen sich ohne Schwierigkeiten in der Realität überprüfen, weil Arbeitsgänge die am häufigsten verwendete kleinste Planungseinheit bilden. Genügt der erzielte Präzisionsgrad nicht oder sind die Strukturierungsmöglichkeiten bei der Bildung von Arbeitsgängen aufzuweisen, so müssen produktionstheoretische Aussagen über Teile von Arbeitsgängen bis hin zu Vorgangselementen formuliert werden. Ihre Überprüfung erfordert meist den Einsatz spezieller Meßinstrumente. Dabei kann auf die Ergebnisse und Methoden der Arbeitswissenschaft zurückgegriffen werden.

¹⁷ Kosiol [Organisation] 196 f.; vgl. auch REFA [Arbeitsstudium 1] 76.

¹⁸ Kosiol [Organisation] 196 f.

¹⁹ Schweitzer [Probleme] 48; vgl. auch REFA [Arbeitsgestaltung] 51.

²⁰ Schweitzer [Probleme] 48 ff.

3. Struktur produktions- und organisationstheoretischer Aussagen

In den Teiltheorien der Unternehmungstheorie werden Aussagen über gesetzmäßige oder regelmäßige Beziehungen zwischen betrieblichen Größen formuliert. Dabei werden Relationen oder Funktionen bezüglich Elementen eines Definitionsbereichs und Elementen eines Wertebereichs wiedergegeben. Die einzelnen Teiltheorien unterscheiden sich nicht nur in Art und Umfang der von ihnen erfaßten Teilprozesse, sondern auch hinsichtlich der ihnen zugrunde liegenden Fragestellung. Nach einer *ersten* Fragestellung werden durch die Abgrenzung des Betrachtungsgegenstands Definitionsbereichs und Wertebereich angegeben. Die zwischen ihnen bestehenden Relationen oder Funktionen bilden den Forschungsgegenstand. Diese Fragestellung wird in der Produktionstheorie verfolgt. In einer *zweiten* Klasse von Teiltheorien werden die Elemente eines bestimmten Definitionsbereichs als betriebliche Handlungsgrößen vorgegeben. Man untersucht, welche verschiedenenartigen Relationen (Funktionen) zu mehreren Teilmengen ihres Wertebereichs bestehen. Faßt man mögliche Organisationsformen als Elemente des Definitionsbereichs und ihre verschiedenartigen Konsequenzen als Elemente mehrerer Teilmengen des Wertebereichs auf, so ist diese Art der Fragestellung für die betriebswirtschaftliche Organisationstheorie typisch. Bei der *dritten* Form einer theoretischen Fragestellung wird durch den Betrachtungsgegenstand der Wertebereich abgegrenzt und erforscht, von welchen Teilmengen des Definitionsbereichs und von welchen Relationen (Funktionen) die Ausprägung seiner Elemente bestimmt wird. Ein charakteristisches Beispiel für diese Fragestellung bildet die betriebswirtschaftliche Kostentheorie.

Die formale Struktur möglicher Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und Organisationstheorie läßt sich durch eine nähere Kennzeichnung ihrer Aussagen herausarbeiten. In betriebswirtschaftlichen Untersuchungen wird das Produktionsprogramm in der Regel als wichtige Handlungsgröße der Unternehmung angesehen. Deshalb faßt man die Ausbringungsmengen vielfach als Elemente des Definitionsbereichs und die Einsatzmengen als Elemente des Wertebereichs produktionstheoretischer Relationen oder Funktionen auf¹. Die umgekehrte Zuordnung ist in volkswirtschaftlichen Untersuchungen vorherrschend.

Man kann davon ausgehen, daß die Mengen der in einem Produktionsprozeß einzusetzenden Güterarten im allgemeinen Fall von den Ausbringungsmengen mehrerer Produktarten, den Ausprägungen sonstiger möglicher Bestimmungsgrößen und bei substituierbaren Gütern von dem Verhältnis der Einsatzgütermengen abhängig ist. Jede realisierbare Kombination der Einsatzgütermengen bildet einen ‚Inputvektor‘ i . Gleichermaßen kann jede realisierbare Mengenkombination der Produktarten durch einen ‚Produktvektor‘ p und jede mögli-

¹ Kloock [Input-Output-Modelle] 65; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 46.

che Kombination der Ausprägung sonstiger Bestimmungsgrößen durch einen ‚Bestimmungsgrößenvektor‘ b^P wiedergegeben werden. Bezeichnet man die Menge aller Inputvektoren mit I , die Menge aller Produktvektoren mit P und die Menge aller Bestimmungsgrößenvektoren mit B^P , so ist die Produktionsfunktion F^P allgemein entsprechend A.1 als mehrstellige Relation definiert².

$$F^P: (p, b^P, i) \in P \times B^P \times I \rightarrow F^P(p, b^P, i) \in P(I) \quad (\text{A.1})$$

Produktionstheoretische Relationen stellen Funktionen dar, wenn die Einsatzgütermengen für jede zulässige Kombination der Produktmengen und der sonstigen Bestimmungsgrößen eindeutig bestimmt sind. Unter der Produktionsfunktion einer Unternehmung kann man das System aller für sie gelgenden mehrstelligen Relationen oder mehrvariablen Funktionen verstehen.

Zur Veranschaulichung ist die Struktur produktions theoretischer Aussagen für eine Einsatzgüterart j und die ihre Einsatzmengen bestimmende Produktart q , Einsatzgüterart k und Einflußgröße c in Abbildung 1 skizziert.

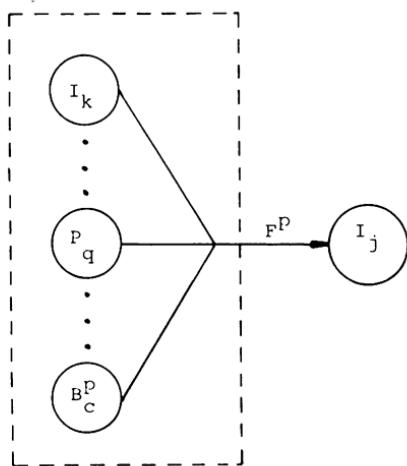


Abb. 1: Vereinfachte mengentheoretische Struktur einer produktions theoretischen Aussage

Die Organisationsform einer Unternehmung wird durch die Ausprägung der verschiedenen strukturierbaren Beziehungsarten gekennzeichnet. Jede realisierbare Kombination der Ausprägungen sämtlicher Beziehungsarten lässt sich durch einen ‚Organisationsvektor‘ s beschreiben. Die Menge S aller Organisa-

² Vgl. Eichhorn [Produktionsfunktion] 2 ff.; Wittmann [Produktionstheorie] 9. Mit $P(I)$ wird die Potenzmenge von I bezeichnet.

tionsvektoren kann als Teilraum des Definitionsbereichs organisatorischer Relationen interpretiert werden. Über die von der Organisationslehre zu untersuchenden betriebswirtschaftlichen Konsequenzen organisatorischer Maßnahmen besteht keine einheitliche Auffassung. Zu ihnen gehören aber insbesondere die Auswirkungen auf die wichtigsten Unternehmungsziele. Nach den Untersuchungen der Zielforschung³ verfolgen Unternehmungen in der Regel ein Zielsystem, das Produkt-, Erfolgs-, Liquiditäts- und Sozialziele⁴ umfassen kann. Gibt man jede Kombination der Ausprägungen aller berücksichtigten Ziele durch einen ‚Zielvektor‘ z wieder, so entspricht die Menge Z sämtlicher Zielvektoren dem Wertebereich organisatorischer Relationen. Man kann unterstellen, daß die Auswirkungen organisatorischer Maßnahmen von weiteren Bestimmungsgrößen neben der Organisationsform beeinflußt werden. Die möglichen Ausprägungen dieser Bestimmungsgrößen lassen sich durch die Vektoren b^0 und die Menge dieser Vektoren durch die Menge B^0 bezeichnen. Dann sind organisationstheoretische Aussagen F^0 allgemein entsprechend A.2 als mehrstellige Relation zu definieren:

$$F^0: (s, b^0) \in S \times B^0 \xrightarrow{\quad} F^0(s, b^0) \in P(Z) \quad (A.2)$$

Eine vereinfachte Darstellung für die Zielmengen Z_1 bis Z_z und die Bestimmungsgrößenmengen B_1^0 bis B_B^0 vermittelt Abbildung 2.

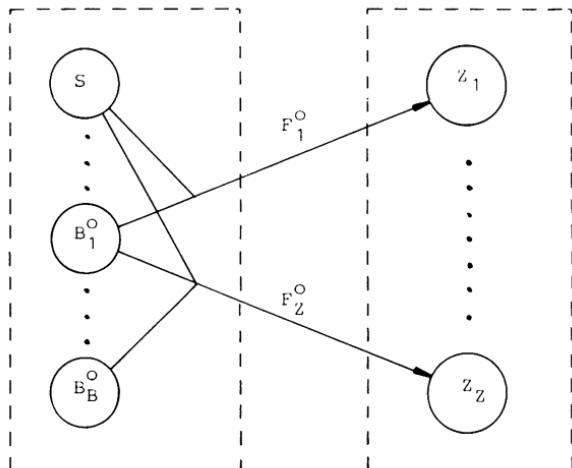


Abb. 2: Vereinfachte mengentheoretische Darstellung eines organisationstheoretischen Aussagensystems

³ Vgl. z. B. Heinen [Zielsystem] 30 ff.

⁴ Zur Gliederung betrieblicher Ziele vgl. Bidlingmaier [Unternehmerziele] 42 ff.; Heinen [Zielsystem] 89 ff.; Kosiol [Aktionszentrum] 223 ff.; Küpper [Mitbestimmung] 186 ff.; Schmidt, R.-B. [Wirtschaftslehre] 115 und 123; Schmidt-Sudhoff [Unternehmerziele] 93 ff.; Schweitzer [Industriebetriebslehre] 27 ff.

Anhand der mengentheoretisch gekennzeichneten Struktur produktions- und organisationstheoretischer Aussagen lassen sich verschiedene Arten möglicher Beziehungen zwischen diesen Teiltheorien herausarbeiten. Eine erste Verbindung liegt vor, wenn organisatorische Tatbestände die Ausprägung der quantitativen Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung beeinflussen. In diesem Fall ist eine Teilmenge der Menge S der Organisationsformen bzw. einer Teilmenge von S in A.2 identisch. Beispielsweise können die Input-Output-Beziehungen von der raum-zeitlichen Strukturierung des materiellen Realisationsprozesses unmittelbar und von der Strukturierung der Gruppierungs-, Kommunikations- und Machtbeziehungen in den Planungs- und Kontrollprozessen sowie den Entscheidungsprozessen mittelbar abhängig sein.

Der Betrachtungsgegenstand der betriebswirtschaftlichen Organisationstheorie umfaßt nach der Strukturierungskonzeption Beziehungsarten, die bewußt gestaltet werden können. Demgegenüber geht man in der Produktionstheorie davon aus, daß die zu untersuchenden Input-Output-Beziehungen zumindest teilweise gesetzmäßigen Charakter haben und nicht unmittelbar durch die Unternehmung festgelegt sind. Diese kann vielmehr durch Entscheidungen über die verschiedenen Handlungsgrößen bzw. Teilmengen des Definitionsbereichs in A.1 bestimmen, welche Input-Output-Beziehungen in ihrem Produktionsprozeß wirksam werden. Ein Einfluß der Produktionstheorie auf die Organisationstheorie kommt darin zum Ausdruck, daß Bestimmungsgrößen des Gütereinsatzes für die Auswirkungen organisatorischer Tatbestände maßgebend sind. Formal bedeutet dies, daß beispielsweise die Menge möglicher Produktionsprogramme oder eine Teilmenge der sonstigen produktions-theoretischen Bestimmungsgrößen B^p in A.1 mit Teilmengen der sonstigen organisationstheoretischen Bestimmungsgrößen B^0 in A.2 identisch sind. Der Gütereinsatz und die Auswirkungen organisatorischer Maßnahmen sind in diesem Fall teilweise von denselben Bestimmungsgrößen abhängig.

Eine weitere Verbindung zwischen Produktions- und Organisationstheorie kann sich daraus ergeben, daß Gütereinsatz und Güterausbringung wichtige Bestimmungsgrößen der Technizität⁵, der Kosten und Leistungen, der Einnahmen und Ausgaben sowie sozialer Tatbestände darstellen (können). Deshalb dienen productionstheoretische Aussagen gemeinsam mit Aussagen anderer Teiltheorien zur Erklärung und Prognose der Ausprägungen von Produkt-, Erfolgs-, Liquiditäts- und Sozialzielen. Dies bedeutet aber, daß productionstheoretische Aussagen in die Organisationstheorie integriert werden müssen, um Hypothesen über die Auswirkungen der Organisation auf diese Ziele formulieren zu können. Das organisatorische Aussagensystem ist demnach durch eine Verknüpfung von Hypothesen mehrerer Theorien aufzubauen, zu denen auch Hypothesen über die Input-Output-Beziehungen von Realgütern gehören.

⁵ Vgl. zu diesem Begriff Kosiol [Aktionszentrum] 21; Bidlingmaier [Unternehmerziele] 52 f.; Forker [Wirtschaftlichkeitsprinzip] 31 ff. Vgl. ferner Gutenberg [Produktion] 9 f.

Abbildung 3 vermittelt einen Überblick über die beschriebenen Arten möglicher Verbindungen zwischen Produktionstheorie und Organisationstheorie. Dabei bezeichnen durchgezogene Pfeile productionstheoretische Relationen und gepunktete Pfeile organisationstheoretische Relationen. Die gestrichelten Pfeile deuten an, daß die Entscheidungen der Unternehmung über die Organisationsform und sonstige, als unabhängige Handlungsvariablen angesehenen Elemente des Definitionsbereichs von deren erwarteten Auswirkungen auf die Unternehmungsziele beeinflußt werden.

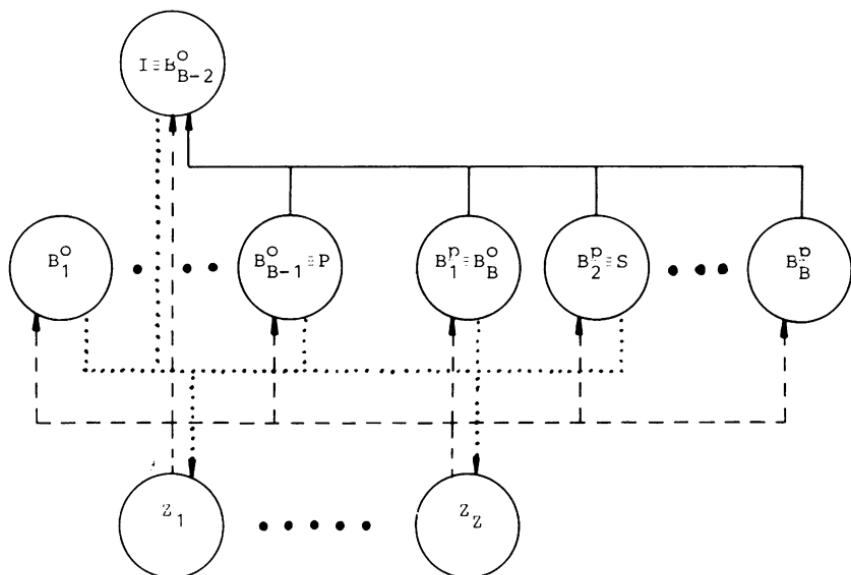


Abb. 3: Formaler Überblick über mögliche Verbindungen zwischen Produktionstheorie und Organisationstheorie

Wenn die gekennzeichneten Verbindungen in der Realität vorliegen, bestehen nicht nur einseitige Beziehungen, sondern Interdependenzen zwischen Produktions- und Organisationstheorie. Diese sind durch ein integriertes produktions- und organisationstheoretisches Aussagensystem abzubilden.

B. Grundlagen zur Abbildung der Organisation des Produktionsprozesses in produktions- und organisationstheoretischen Aussagensystemen

I. Strukturmerkmale des Produktionsprozesses

1. Klassifikation der Strukturmerkmale des Produktionsprozesses

Produktions- und organisationstheoretische Aussagen behaupten das Vorliegen gesetz- oder regelmäßiger Beziehungen zwischen bestimmten Merkmalen. Deshalb sind die wichtigsten Strukturmerkmale des materiellen Realisationsprozesses der Produktion als mögliche Komponenten produktions- und organisationstheoretischer Aussagen zu kennzeichnen. Diese Strukturmerkmale des Produktionsprozesses lassen sich nach einer Vielzahl von Kriterien klassifizieren¹. Für diese Untersuchung erscheinen drei Gesichtspunkte besonders wichtig: die Unterscheidung (1) von Elementen und Beziehungen, (2) von Strukturierungstatbeständen und Ergebnismerkmalen sowie (3) von Merkmalen der Produktionsbereitschaft und des Produktionsvollzugs.

Die Einteilung in Elemente und Beziehungen dient zur näheren Kennzeichnung produktionstheoretischer und organisatorischer Tatbestände. Elemente des Produktionsprozesses sind Arbeitskräfte und Arbeitsmittel, deren Leistungsabgaben, Informationen und Werkstoffe. Die Eigenschaften dieser Elemente lassen sich durch Qualitäts-, Quantitäts-, Zeit- und Raumerkmale erfassen. Die Einsatz- bzw. Ausbringungsmengen der Elemente stellen die charakteristischen Komponenten produktionstheoretischer Aussagen dar. Wichtige strukturierbare Beziehungsarten des Produktionsprozesses sind Gruppierungs-, Raum-, Reihenfolge- und Arbeits- bzw. Transportbeziehungen.

Nach der Bedeutung im Entscheidungsprozeß lassen sich Strukturierungstatbestände und Ergebnismerkmale unterscheiden. Strukturierungstatbestände sind die Merkmale, deren Ausprägung durch Entscheidungen der Unternehmung unmittelbar festgelegt werden können². Sie bilden die Handlungsva-

¹ Vgl. z. B. Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 110 ff.; Heinen [Kostenlehre] 481 ff.; Henzel [Kosten] 161 ff.; Pack [Elastizität] 86 ff.; Riebel [Erzeugungsverfahren] 19 ff.; Schäfer [Industriebetrieb 1] 19 ff.; Schäfer [Industriebetrieb 2] 205 ff.; Schweitzer [Prozeßstrukturierung] 290 f.

² Zur formalen Struktur von Entscheidungen vgl. Barnard [Functions] 185 ff.; Chmieliewicz [Formalstruktur] 240 ff.; Cyert/March [Theory] 125 ff.; Gäfgen [Theorie] 18 ff.; Griem [Unternehmungsentscheidung] 27; Heinen [Zielsystem] 18 ff.; Kosiol [Aktionszentrum] 212 ff.; Schweitzer [Bilanz] 114; Schmidt, R.-B. [Wirtschaftslehre] 47; Witte [Entscheidung] 101 ff.

riablen zur Gestaltung des Produktionsprozesses. Jede mögliche Kombination ihrer Ausprägungen stellt eine Handlungsalternative dar. Die Menge der realisierbaren Alternativen ergibt den Handlungs- oder Lösungsraum der Unternehmung. Die Durchführung einer Alternative löst mehrere Konsequenzen aus. Da sich diese Konsequenzen als empirische Folgen der Verwirklichung von Entscheidungsalternativen ergeben, kann man sie als deren Ergebnismerkmale bezeichnen³. Die verschiedenenartigen Ergebnismerkmale sind potentielle Entscheidungsziele. Der Unternehmung sind ferner Daten vorgegeben, die ihren Handlungsraum begrenzen und die Konsequenzen ihrer Entscheidungen beeinflussen. Bei einer Reihe von Tatbeständen lässt sich nicht generell angeben, ob ihre Ausprägung von der Unternehmung festzulegen oder ihr vorgegeben ist.

Im Hinblick auf den Planungsprozeß der Unternehmung erscheint eine zusätzliche Gliederung der Strukturierungstatbestände in Merkmale der Produktionsbereitschaft und des Produktionsvollzugs zweckmäßig. Strukturmerkmale der Produktionsbereitschaft kennzeichnen die Produktionsmöglichkeiten der Unternehmung. Sie umfassen die Menge der potentiell herstellbaren und verwertbaren Produkte, der zu ihrer Erzeugung verwendbaren technologischen Verfahren und der potentiell durchführbaren Leistungsprozesse. Dagegen beschreiben die Strukturmerkmale des Produktionsvollzugs die konkrete Durchführung des Produktionsprozesses. Die Strukturierungstatbestände der Produktionsbereitschaft sind meist auf längere Sicht wirksam und besitzen eine größere Bedeutung für die Zielerreichung der Unternehmung. Ihre Ausprägung bildet den Rahmen für die Entscheidungen über den Produktionsvollzug. Dessen Merkmale müssen in der Regel in verhältnismäßig kurzen Zeitabständen festgelegt werden.

2. Strukturierungstatbestände der Produktionsbereitschaft

a) Zusammensetzung des potentiellen Produktionsprogramms

Das potentielle Produktionsprogramm umfaßt die Menge aller in einem Produktionsprozeß herstellbaren und absetzbaren Produkte¹. Seine Festlegung ist in der Regel von grundlegender Bedeutung für alle anderen Strukturmerkmale. Mit der Entscheidung über das potentielle Produktionsprogramm wird ein globaler Rahmen für die Festlegung des aktuellen Produktionsprogramms abgesteckt.

In Anlehnung an den weiten Produktionsbegriff wird der Begriff Produktionsprogramm als Oberbegriff für Fertigungs- und Absatzprogramm verwendet.

³ Zum Begriff Ergebnismerkmal vgl. Küpper [Mitbestimmung] 77 ff.

¹ Zur Unterscheidung von potentiellem und aktuellem Produktionsprogramm vgl. Heinen [Kostenlehre] 487.

det. Er kennzeichnet damit den gesamten Output der Unternehmung. Dagegen wird das Beschaffungsprogramm nicht als Teil des Produktionsprogramms verstanden². Der Begriff Produktionsprogramm beinhaltet die zum Output gehörenden Güterarten und Gütermengen sowie die Zeitpunkte und Orte³ ihrer Fertigstellung bzw. ihres Absatzes. Die Bestimmung des potentiellen Produktionsprogramms bezieht sich meist primär auf die artmäßige Zusammensetzung des Produktionsprogramms. Aus absatzpolitischen Gründen werden die wichtigsten Absatzgüterarten auf längere Sicht festgelegt. Das Vertriebssystem, der Kundenstamm und die Stellung der Unternehmung am Markt sind auf ein bestimmtes Absatzprogramm ausgerichtet. Auch die Entscheidung über die herstellbaren Güterarten ist meist von grundlegender Bedeutung, weil von ihr die Ausstattung der Unternehmung mit Potentialgütern abhängt. Für die Ausstattungsentscheidungen ist ferner maßgebend, in welchen Bereichen die herstellbaren und absetzbaren Mindest- und Höchstmengen der einzelnen Produktarten liegen sollen. Schließlich kann die Entscheidung über das potentielle Produktionsprogramm eine gewisse Abgrenzung der Möglichkeiten bei der zeitlichen und räumlichen Strukturierung der Fertigungs- und Absatzgüter umfassen.

Die Zusammensetzung des potentiellen Produktionsprogramms wird durch eine Reihe von Merkmalen beschrieben. Produkte einer Unternehmung können materielle Güter wie Bauwerke, Maschinen, Werkzeuge und Stoffe oder immaterielle Güter wie Dienste und Informationen sein. Aufgrund der Gestalt materieller Produkte lassen sich Stückgüter sowie ungeformte und geformte Fließgüter unterscheiden⁴. Ferner kann das Produktionsprogramm aus einteiligen oder aus mehrteiligen Produkten bestehen. Die Beweglichkeit der Produkte ist maßgebend dafür, inwieweit der Produktionsprozeß an einen bestimmten Ort gebunden ist⁵. Nach der Anzahl der Produktarten und der Übereinstimmung zwischen den Produkten differenziert man insbesondere Massen-, Sorten-, Serien- und Einzelprodukte⁶. Im Fall der Massenproduktion enthält das Produktionsprogramm lediglich eine Produktart, die in unbegrenzter Menge hergestellt und abgesetzt wird. Weisen die Erzeugnisse nur geringfügige Unterschiede hinsichtlich ihrer Abmessung, Größe, Gestalt, Qualität oder ihres

² Analog zur Verwendung des Begriffs Produktion als Oberbegriff für Beschaffung, Fertigung und Absatz wäre es naheliegend, auch das Beschaffungsprogramm zum Produktionsprogramm zu rechnen. Eine derartige Begriffsabgrenzung ist bislang nicht üblich. Sie erscheint wenig zweckmäßig, weil die Beziehungen zwischen Fertigungs- und Absatzprogramm in der Regel viel enger als zum Beschaffungsprogramm sind und das Beschaffungsprogramm einen wichtigen Teil des Inputs der Unternehmung bildet.

³ Die räumliche Komponente wird in der Regel vernachlässigt.

⁴ Riebel [Erzeugungsverfahren] 49 ff.; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 229.

⁵ Vgl. Kalveram [Industriebetriebslehre] 50 ff.; Schäfer [Industriebetrieb 1] 168 ff.; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 243 ff.

⁶ Vgl. zum folgenden Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 130 ff.; Gutenberg [Produktion] 108 ff.; Heber/Nowak [Betriebstyp] 154 ff.; Kalveram [Industriebetriebslehre] 52 ff.; Kosiol [Aktionszentrum] 38 ff.; Schäfer [Industriebetrieb 1] 62 ff.

Formats auf, so spricht man von Sortenprodukten. Aus dem hohen Verwandtschaftsgrad der Produktarten ergibt sich häufig, daß ihre Herstellungsprozesse nur geringfügig voneinander abweichen. Meist werden Sortenprodukte in großen Auflagen hergestellt. Serienprodukte sind verschiedenartige Güter, zwischen denen nur geringe oder keine Übereinstimmung vorliegt. Jedoch wird von jeder Güterart in einer Auflage eine bestimmte Anzahl erzeugt. Die Produkte einer Serie sind also homogen. Entsprechend der Auflagenhöhe unterscheidet man Groß- und Kleinserien. Das Produktionsprogramm setzt sich aus Einzelprodukten zusammen, wenn jeweils eine (oder sehr wenige) Einheit(en) von verschiedenenartigen individuellen Gütern hergestellt und abgesetzt wird (werden).

Maßgebend ist des weiteren, inwieweit einzelne oder alle Produkte auf Vorrat oder auf Bestellung hergestellt bzw. beschafft werden. Bei ‚Kundenprodukten‘⁷ liegt der Bestellvorgang des Kunden zeitlich vor dem Herstellungs- bzw. Beschaffungsprozeß. Dagegen wird bei ‚Marktproduktion‘ die Güterherstellung bzw. -beschaffung durchgeführt, ohne sich an spezifizierten Kundenbestellungen auszurichten.

b) Ausstattung der Unternehmung mit Arbeitskräften und maschinellen Anlagen

Die Ausstattung der Unternehmung mit Arbeitskräften und maschinellen Anlagen ist bestimmd dafür, welche Prozesse zur Herstellung und Verwertung in der Unternehmung durchgeführt werden können. Sofern Anlagen und Arbeitskräfte nicht für begrenzte Zeit gemietet werden, stehen ihre Leistungsabgaben der Unternehmung in der Regel während eines längeren Zeitraums zur Verfügung⁸.

Jede Person und jede Anlage zeichnen sich durch bestimmte Eigenschaften aus. Die qualitative Leistungsfähigkeit einer Arbeitskraft bzw. einer Anlage ergibt sich aus der Art der einzelnen Verrichtungen, die sie durchführen kann⁹. Der Bereich möglicher Verrichtungsarten kennzeichnet ihren Spezialisierungsgrad, die Qualität der einzelnen Verrichtungen ihren Präzisionsgrad. Dagegen bezeichnet die quantitative Leistungsfähigkeit einer Arbeitskraft oder Anlage die Anzahl der von ihr innerhalb eines Zeitraumes durchführbaren Verrichtungen. Diese hängt von der Intensität, mit der die einzelnen Verrichtungen vollzogen werden, und der Produktionsdauer der Arbeitskraft oder Anlage ab. Wichtige Merkmale der Arbeitskräfte sind ferner deren persönliche Ziele und Verhaltenseigenschaften, durch welche ihre Leistungsbereitschaft und die zwischenmenschlichen Beziehungen geprägt werden. Kennzeichnend für ma-

⁷ Riebel [Marktproduktion] 666 ff.; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 126 ff.

⁸ Die Entlassung von Arbeitskräften ist durch gesetzliche und vertragliche Bestimmungen eingeschränkt.

⁹ Vgl. Gutenberg [Produktion] 73 ff.; Heinen [Kostenlehre] 290 ff.

schinelle Anlagen ist, inwieweit sie bei der Leistungsabgabe der menschlichen Führung, Steuerung, Kontrolle und/oder Bedienung bedürfen¹⁰.

Eine Unternehmung kann die Leistungsfähigkeit der von ihr eingestellten Arbeitskräfte bzw. angeschafften Anlagen in begrenztem Umfang beeinflussen. Die Fähigkeiten von Arbeitskräften können insbesondere durch Ausbildungsmaßnahmen¹¹ erhöht werden. Der Automatisierungsgrad von Anlagen lässt sich durch die Konstruktion spezieller Vorrichtungen verändern.

Die *Arbeitszeit* von Arbeitskräften wird durch Arbeitszeit-, Urlaubs- und Pausenregelungen bestimmt. Wichtige Teile dieser Regelungen sind gesetzlich oder tarifvertraglich vorgegeben. Einzelne Elemente müssen zwischen Unternehmensleitung und Betriebsrat vereinbart werden¹². Auf kurze Sicht kann die Arbeitszeit in begrenztem Ausmaß durch die Einführung von Überstunden, Sonderschichten oder Kurzarbeit verändert werden. Des weiteren wird sie insbesondere¹³ durch Krankheitsausfälle eingeschränkt. Die *Belegungszeit* von Anlagen, während der sie dem Betrieb für den Einsatz zur Verfügung stehen, umfasst Fertigungs-(Nutzungs-)Zeiten, Rüstzeiten sowie ablaufbedingte, erholungsbedingte, störungsbedingte und persönlich bedingte Leer-(Unterbrechungs-)Zeiten¹⁴. Sie wird auf längere Sicht durch die technisch-wirtschaftliche Lebensdauer von Anlagen und die Instandhaltungspolitik determiniert.

Die räumliche Anordnung maschinereller Anlagen ist häufig auf längere Sicht festzulegen. Soweit Anlagen fest verankert sein müssen, kann ihr Standort nicht laufend verändert werden.

c) *Struktur der Produktiveinheiten*

Während die Strukturmerkmale des Produktionsprogramms und der Ausstattung mit Arbeitskräften bzw. Anlagen Elemente des Produktionsprozesses beschreiben, werden durch die Struktur der Produktiveinheiten und der Stückprozesse organisatorische Beziehungsarten erfasst. Mit dem Begriff *Produktiveinheit* bezeichnet man „... die kleinste produktive Einheit des betrieblichen Leistungsvollzuges ...“¹⁵. Eine Produktiveinheit wird durch die gegen-

¹⁰ Vgl. Waffenschmidt [Technik] 129 ff. und 204 ff.; Kosiol [Aktionszentrum] 163 ff.; Kosiol/Szyperski/Chmielewicz [Systemforschung] 363; Szyperski [Büroarbeit] 110 ff.; Grochla [Unternehmungsorganisation] 46 f.

¹¹ Zum Überblick vgl. Gaugler [Personalplanung] 153 ff.

¹² Vgl. § 87 Betriebsverfassungsgesetz 1972.

¹³ Vgl. REFA [Arbeitsstudium 2] 24 und 30.

¹⁴ REFA [Arbeitsstudium 2] 24 und 30.

¹⁵ Pack [Elastizität] 65. Denselben Begriff verwenden Henzel [Beschäftigungsgrad] 727 und Bruhn [Potentialfaktoren] 67 ff. Derselbe Tatbestand wird von Gutenberg ‚produktive Kombination‘, von REFA ‚Arbeitssystem‘ und von E. Schneider ‚Arbeitseinheit‘ genannt. Gutenberg [Produktion] 2; REFA [Arbeitsstudium 1] 67; Schneider, E. [Rechnungswesen] 24.

seitige sachliche und räumliche Zuordnung von Arbeitskräften und maschinellen Anlagen gebildet. Diese Zuordnung wird meist für einen längeren Zeitraum beibehalten. Durch die Verwendung dieses Begriffs wird dem Tatbestand Rechnung getragen, daß die Arbeitsgänge vielfach von Arbeitskräften unter Verwendung maschineller Anlagen vollzogen werden. Lediglich in den Grenzfällen der reinen Handarbeit und der vollautomatisierten Fertigung¹⁶ besteht eine Produktiveinheit allein aus einer Arbeitskraft bzw. Anlage. Der Begriff Produktiveinheit deckt sich nicht mit dem Stellenbegriff¹⁷. Er bezieht sich auf die beobachtbare räumliche Zuordnung von Subjekten sowie Arbeitsmitteln und nicht auf einen (nur schwer beobachtbaren) Aufgabenkomplex, der vom tatsächlichen Aufgabenträger und der räumlichen Anordnung unabhängig ist. Ferner kann eine Stelle die Aufgaben mehrerer Produktiveinheiten umfassen, wenn eine Person im Fall der Mehrplazarbeit¹⁸ mehrere Anlagen zu bedienen hat. Sind zur Durchführung eines Arbeitsganges mehrere Arbeitskräfte an einer Anlage eingesetzt, so umfaßt die Produktiveinheit mehrere Personen.

Die Struktur einer Produktiveinheit wird durch die in ihr kombinierten Arbeitskräfte und Arbeitsmittel, durch deren qualitative und quantitative Leistungsfähigkeit sowie ihre räumliche Anordnung charakterisiert. Die qualitative und quantitative Leistungsfähigkeit der Produktiveinheiten folgt aus der Leistungsfähigkeit der sie bildenden Arbeitskräfte und Anlagen. Sie lässt sich ebenfalls durch Art und Zahl der durchführbaren Verrichtungen, den Spezialisierungs- und Präzisionsgrad sowie die möglichen Intensitätsgrade beschreiben. Durch sie wird die Technologie der durchführbaren Produktionsverfahren weithin festgelegt. Die zeitliche Einsetzbarkeit der Produktiveinheiten wird durch die zeitliche Verfügbarkeit ihrer Arbeitskräfte und Arbeitsmittel bestimmt. Bei Schichtarbeit werden die Arbeitsmittel einer Produktiveinheit intervallweise von verschiedenen Personen mit (weithin) gleicher Leistungsfähigkeit bedient. Zur kurzzeitigen Vertretung einer Arbeitskraft wegen persönlich bedingter Verteil- oder Erholungszeiten können Springer eingesetzt werden¹⁹.

Die räumliche Anordnung der Produktiveinheiten wird meist durch die Standorte ihrer maschinellen Anlagen determiniert. Nach der räumlichen Anordnung der Produktiveinheiten und den von den Stückprozessen abhängigen potentiellen Arbeitsbeziehungen²⁰ zwischen ihnen unterscheidet man mehrere Organisationstypen. Diese Einteilung wird üblicherweise auf den Bereich der Fertigung angewendet, ist aber im Prinzip auch auf andere Bereiche übertragbar. Als grundlegende organisatorische Anordnungstypen können die Werk-

¹⁶ Bei ihr ist aber auch eine menschliche Bedienung und Überwachung notwendig.

¹⁷ Zu diesem Begriff vgl. Kosiol [Organisation] 89 ff.; Grochla [Unternehmungsorganisation] 45 f.

¹⁸ Kosiol [Organisation] 91.

¹⁹ REFA [Arbeitsstudium 2] 334.

²⁰ Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 272 spricht von ‚Übergangsbeziehungen‘.

statt-, die Fließ-, die Werkstattfließ- und die Fließinselfertigung angesehen werden²¹.

Bei *Werkstattfertigung* sind Produktiveinheiten, die artgleiche Verrichtungen durchführen, nach dem Verrichtungsprinzip räumlich in Werkstätten zusammengefaßt. Die Reihenfolge, in welcher die Werkstätten durchlaufen werden, kann für alle Produktarten verschieden sein. Daher besteht eine Vielzahl möglicher Arbeits- bzw. Transportbeziehungen zwischen den Produktiveinheiten innerhalb der Werkstätten und zwischen den Werkstätten.

Im Gegensatz dazu sind die Produktiveinheiten bei *Fließ-, Linien-, Reihen- oder Straßenfertigung* nach dem Objekt- oder Fließprinzip angeordnet²². Die technologische Reihenfolge der Arbeitsgänge bestimmt die räumliche Anordnung der Produktiveinheiten. Die auf einer Fertigungsline erzeugten Produkte weisen im Normalfall dieselbe Reihenfolge ihrer Arbeitsgänge auf. Deshalb ist die Zahl möglicher Transportbeziehungen sehr klein. „... Im Extremfall (kommt) zwischen jeweils zwei Maschinen nur eine einzige direkte Übergangsbeziehung vor“²³. Als Unterformen der Fließfertigung unterscheidet man nicht-taktierte (ungebundene) und taktierte (gebundene) Fließfertigung. Zur Kennzeichnung dieser Typen ist zusätzlich das Strukturmerkmal ‚zeitliche Abstimmung der Gangfolgen‘ heranzuziehen. Der Objektdurchlauf durch die Produktiveinheiten ist bei taktierter Fließfertigung zeitlich „... so aufeinander abgestimmt, daß zwischen den Arbeitsplätzen kein ablaufbedingtes Liegen der Arbeitsgegenstände entsteht“²⁴.

Durch die Kombination von Verrichtungs- und Objektprinzip erhält man die Zwischentypen der Werkstattfließ- und der Fließinselfertigung. Im Fall der *Werkstattfließfertigung* ist das Verrichtungsprinzip dem Objektprinzip untergeordnet. Produktiveinheiten mit artgleichen Verrichtungen sind zu Werkstätten zusammengefaßt, die man nach dem Objektfluß anordnet. Die Zahl möglicher Transportbeziehungen ist geringer als bei Werkstattfertigung. Es treten nur Übergänge zwischen den Produktiveinheiten innerhalb jeder Werkstatt sowie zwischen den Produktiveinheiten von zwei direkt aufeinanderfolgenden Werk-

²¹ Vgl. zum folgenden Berger [Organisationstypen] 180 ff.; Beste [Fertigungsverfahren] 1771 ff.; Gutenberg [Produktion] 96 ff.; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 269 ff.; Hahn, D. [Produktionsverfahren] 3160; Kosiol [Aktionszentrum] 167 f.; Mellerowicz [Industrie] 314 ff.; REFA [Arbeitsstudium 3] 174 ff.; Schäfer [Industriebetrieb 1] 171 ff.; Schweitzer [Industriebetriebslehre] 118 ff.

²² Die Bezeichnung dieses Organisationstyps ist uneinheitlich. Teilweise wird der Begriff Fließfertigung nur auf taktierte Fertigung bezogen. Im Anschluß an Schäfer, Schweitzer, D. Hahn und Große-Oetringhaus wird er hier als Oberbegriff für taktierte und nicht-taktierte Fließfertigung verwendet. Schäfer [Industriebetrieb 1] 179 ff.; Schweitzer [Industriebetriebslehre] 121 ff.; Hahn, D. [Produktionsverfahren] 3160; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 274 f. Vgl. auch Hasenack [Fließfertigung] 407 ff.

²³ Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 291.

²⁴ REFA [Arbeitsstudium 3] 182. Nach der Bindung zwischen Transport- und Bearbeitungszeiten unterscheidet Große-Oetringhaus Unterformen der taktierten Fließfertigung. Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 215 ff.

stätten auf. Während bei diesem Typ eine integrierte Kombination aus Verrichtungs- und Objektprinzip vorliegt, kommen bei *Fließinsel*²⁵ fertigung „... beide Anordnungsprinzipien in jeweils reiner Ausprägung isoliert oder verbunden neben-einander vor ...“²⁵. Die Produktiveinheiten sind neben- oder nacheinander teilweise nach dem Verrichtungsprinzip in Werkstätten zusammengefaßt und teilweise nach dem Objektprinzip in einer Linie angeordnet.

d) Struktur der Stückprozesse

Unter dem Stückprozeß eines Produktes versteht man die Menge der zu seiner Herstellung durchzuführenden Verrichtungen und Arbeitsgänge²⁶. Die Struktur der potentiellen Stückprozesse hängt in erster Linie von der Zusammensetzung des potentiellen Produktionsprogramms ab. Bei einer Vielzahl materieller Güter sind die Zahl und auch die Reihenfolge der zu ihrer Herstellung durchzuführenden Verrichtungen zumindest teilweise technologisch vorgegeben. Ferner werden die Alternativen zur Strukturierung der Stückprozesse durch die Leistungsfähigkeit der vorhandenen Produktiveinheiten begrenzt.

Die Struktur der Stückprozesse läßt sich insbesondere durch drei Merkmale beschreiben: den Vergenztyp, die Operationenfolge und das Auftreten von Produktionszyklen. Durch den *Vergenztyp*²⁷ wird gekennzeichnet, inwieweit zur Herstellung eines materiellen Gutes Werkstoffe²⁸ kombiniert und/oder aufgespalten werden müssen. Dieses Merkmal charakterisiert den Objekt- bzw. Materialfluß und damit die Gruppierungsbeziehungen der zu einem Stückprozeß gehörenden Objekte. Als wichtigste Vergenztypen unterscheidet man glatten, konvergierenden, divergierenden und umgruppierenden Objektfluß. Bei glatten (durchgängigen) Prozessen wird eine Produktart aus einer Werkstoffart erzeugt. Der Fertigungsprozeß beschränkt sich auf die Umformung oder Umwandlung des eingesetzten Werkstoffes. Dagegen wird bei konvergierendem (synthetischem) Objektfluß eine Produktart durch die Vereinigung mehrerer Werkstoffarten hergestellt. Es werden mechanische Montage- oder chemische Synthesevorgänge vollzogen. Ein divergierender (analytischer) Objektfluß liegt vor, wenn aus einer Werkstoffart mehrere Produktarten gefertigt werden. Charakteristisch für diesen Vergenztyp ist die Aufspaltung des Werkstoffes. Da hierbei in einem Prozeß verschiedene Güterarten entstehen, wird dieser Typ präziser als ‚prozeßbedingte‘ Divergenz bezeichnet. Ein Fertigungsprozeß, in

²⁵ Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 287.

²⁶ Vgl. Schweitzer [Probleme] 12 und 43; Schweitzer [Terminierung] 42 f.

²⁷ Vgl. zum folgenden Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 169 ff.; Kosiol [Aktionszentrum] 168; Riebel [Kuppelproduktion] 139 ff.; Riebel [Erzeugungsverfahren] 55 ff.; Schäfer [Industriebetrieb I] 19 ff.

²⁸ Werkstoffe sind Rohstoffe, Zwischen- und Endprodukte. Gutenberg [Produktion] 122.

dem zwangsläufig mehrere Produkte anfallen, wird Kuppelprozeß genannt²⁹. Werden in einem Teilprozeß mehrere Werkstoffarten eingesetzt, aus denen verschiedene Produktarten erzeugt werden, so nennt man den Objektfluß umgruppierend. Konvergenz und prozeßbedingte Divergenz sind dabei nicht in nacheinanderfolgenden, sondern in demselben Teilprozeß kombiniert.

Der Stückprozeß eines Produktes kann aus mehreren nebeneinander und/oder nacheinander verlaufenden Teilprozessen zusammengesetzt sein. Dann ergibt sich der Objektfluß des gesamten Stückprozesses aus den Ver-genztypen seiner Teilprozesse. Ein Vergleich der Stückprozesse verschiedener Endprodukte zeigt, inwieweit diese objektmäßig verknüpft sind. Wenn eine Werkstoffart in verschiedenen Stückprozessen eingesetzt wird, liegt eine Auf-teilung ihrer gesamten Einsatzmenge auf mehrere Produktarten vor, die man als ‚programmbedingte‘ Divergenz bezeichnen kann³⁰. Ferner besteht eine ob-jektmäßige Verknüpfung der Stückprozesse verschiedener Endprodukte bei prozeßbedingter Divergenz, wenn Kuppelprodukte zu unterschiedlichen End-produkten weiterbearbeitet werden.

Durch das Strukturmerkmal *Operationenfolge* werden die Gruppierungsbe-ziehungen der zu einem Stückprozeß gehörenden Verrichtungen beschrieben. Die Ausprägung dieses Merkmals ergibt sich aus Art, Zahl und Reihenfolge der zur Herstellung eines Produktes durchzuführenden Verrichtungen. Man diffe-renziert insbesondere zwischen ein- und mehrstufigen Prozessen. Die Auffas-sungen über die Abgrenzung von Produktionsstufen sind uneinheitlich³¹. Im Rah-men dieser Untersuchung erscheint es zweckmäßig, einen Stückprozeß mehrstufig zu nennen, wenn zur Herstellung seines Endproduktes zwei oder mehr Arbeitsgänge nacheinander durchzuführen sind³². Die Stufenzahl hängt damit von der Bildung der Produktiveinheiten und der Arbeitsgänge ab. Kenn-zeichnend für die Operationenfolge ist ferner, welche Arten von Verrichtungen gleichzeitig bzw. nacheinander zu vollziehen sind und in welchem Umfang ihre Reihenfolge technologisch vorgegeben ist. Für einzelne Verrichtungen kann darüber hinaus eine Zeitfixierung bestehen³³. Nach der zeitlichen Kontinuität der Transporttätigkeiten unterscheidet man kontinuierliche und diskontinu-ierliche Stückprozesse³⁴.

Durch einen Vergleich der Operationenfolgen unterschiedlicher Stückpro-esse wird sichtbar, inwieweit zur Erzeugung verschiedenartiger Endprodukte

²⁹ Riebel [Kuppelproduktion] 12.

³⁰ Vgl. Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 170 f.

³¹ Vgl. Beste [Fertigungsstufen] 1757 ff.; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 299 ff.; Schäfer [Industriebetrieb 2] 258 ff.; Stähly [Fabrikationsplanung] 58 f.

³² Beste [Fertigungsstufen] 1757.

³³ Vgl. hierzu Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 203 ff.

³⁴ Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 190. Bei Riebel [Erzeugungsverfahren] 95 ff. wird die Unterscheidung anders vorgenommen.

gleichartige Verrichtungen durchzuführen sind und in welchem Umfang die Reihenfolgen dieser Verrichtungen übereinstimmen³⁵.

Ein Stückprozeß enthält einen *Zyklus*, wenn ein in ihm erzeugtes (Zwischen- oder End-)Produkt auf einer vorhergehenden Stufe desselben Stückprozesses als Ge- oder Verbrauchsgut³⁶ wiedereingesetzt wird. Produktionszyklen entstehen ferner durch die Verbindung verschiedener Stückprozesse, wenn das Produkt p des einen Stückprozesses direkt oder indirekt zur Herstellung des Produkts q eines anderen Stückprozesses und Produkt q direkt oder indirekt zur Erzeugung von Produkt p eingesetzt werden.

3. Strukturierungstatbestände des Produktionsvollzugs

a) Festlegung des aktuellen Produktionsprogramms und der Los- bzw. Chargengrößen

Die Festlegung des *aktuellen* Produktionsprogramms umfaßt die Entscheidungen über die in einer Planungsperiode tatsächlich herzustellenden und abzusetzenden Güterarten und Gütermengen sowie deren zeitliche und räumliche Verteilung. Im Hinblick auf die Erfassung der Zwischenlagerbewegungen und der zeitlichen Beziehungen zwischen den Arbeitsgängen werden auch die Zwischenprodukte als Komponenten des Produktionsprogramms aufgefaßt¹.

Bei Serien- und Sortenproduktion sind ferner die Losgrößen oder die Chargengrößen der Produkte für jeden Arbeitsgang zu bestimmen. Die *Losgröße* kennzeichnet die Anzahl gleichartiger Produkte, die ohne Umrüstung der Produktiveinheit von dieser zeitlich nacheinander gefertigt werden². Dagegen gibt die *Chargengröße* an, welche Anzahl gleich- oder verschiedenartiger Produkte in einem Arbeitsgang gleichzeitig hergestellt werden³.

b) Leistungsbestimmung der Produktiveinheiten

Sofern eine Produktiveinheit ihre Verrichtungen mit unterschiedlichen Intensitätsgraden durchführen kann, ist für jeden Arbeitsgang die *Produktionsgeschwindigkeit* festzulegen. Durch sie wird die Dauer der Arbeitsgänge bestimmt. Bei der Entscheidung über die Intensität und Produktionsgeschwin-

³⁵ Vgl. Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 196 ff.

³⁶ Ein Zyklus wird nur dann im Objektfluß sichtbar, wenn ein Gut als Werkstoff wieder eingesetzt wird. Meist treten aber Zyklen dadurch auf, daß erzeugte Güter als Betriebsstoffe oder als Gebrauchsgüter wiedereingesetzt werden.

¹ Zu dieser Frage vgl. Heinen [Kostenlehre] 487 f.

² Vgl. Gutenberg [Sortenproblem] 4901 f.; Adam [Losgröße] 2550.

³ Vgl. Riebel [Erzeugungsverfahren] 95 f.

digkeit kann man bestrebt sein, einen hohen Grad an Leistungsabstimmung zwischen den Produktiveinheiten zu erzielen⁴.

c) Bestimmung der Arbeitsverteilung

Die *Arbeitsverteilung*⁵ besteht aus der Festlegung der Arbeitsgänge und der räumlichen Zuordnung der Objekte, an denen diese Arbeitsgänge zu vollziehen sind, zu konkreten Produktiveinheiten. Es ist also zu entscheiden, welche Verrichtungen jede einzelne Produktiveinheit an welchen Objekten in einem Planungszeitraum durchzuführen hat. Aus der Abgrenzung der Arbeitsgänge ergibt sich der Grad der Arbeitsteilung. Bei substituierbaren Einsatzgütern ist deren Einsatzmengenverhältnis zu bestimmen. Sofern die Reihenfolge der Arbeitsgänge innerhalb eines Stückprozesses nicht technologisch vorgegeben ist oder auf einer Produktionsstufe derselbe Arbeitsgang von mehreren funktionsgleichen Produktiveinheiten ausführbar ist, umfaßt die Arbeitsverteilung auch die Entscheidung über die Reihenfolge der Arbeitsgänge je Stückprozeß bzw. die Belegung der Produktiveinheiten je Produktionsstufe⁶.

d) Festlegung der Gangfolgen

Zur Strukturierung des Produktionsvollzugs müssen ferner die Gangfolgen sämtlicher Produktiveinheiten festgelegt werden. Unter einer *Gangfolge* versteht man die zeitliche Folge gleich- oder verschiedenartiger Arbeitsgänge, die von einer Produktiveinheit an gleichen oder unterschiedlichen Objekten durchgeführt werden⁷. Die zeitliche Reihenfolge der Arbeitsgänge beeinflußt die Leerzeiten der Produktiveinheiten und die Wartezeiten der Objekte. Rüstzeiten treten in der Regel auf, wenn eine Produktiveinheit nacheinander verschiedene Produkte bearbeitet. Ihre Dauer kann auch von der Reihenfolge der Produktarten abhängig sein.

Durch eine entsprechende Aneinanderreihung von Fertigungs- und Leerzeiten (als Pausen) erreicht man eine Taktabstimmung⁸. Ferner läßt sich in mehrstufigen Produktionsprozessen über die Festlegung der Gangfolgen aufeinanderfolgender Produktiveinheiten und gegebenenfalls einer Veränderung der Produktionsgeschwindigkeiten eine Leistungsabstimmung verschiedener Gangfolgen erzielen. Die Festlegung der Gangfolgen beinhaltet auch die Ent-

⁴ Vgl. Schweitzer [Probleme] 110 ff.

⁵ Vgl. zum folgenden Kosiol [Organisation] 212 ff.

⁶ Damit wird – unscharf ausgedrückt – die „Maschinenfolge“ je Stückprozeß festgelegt.

⁷ Kosiol [Organisation] 206; Schweitzer [Probleme] 43; Schweitzer [Terminierung] 43; Grochla [Unternehmungsorganisation] 129.

⁸ Vgl. hierzu Kosiol [Organisation] 221 ff.

Elemente		Beziehungen zwischen den Elementen			
Subjekte	Arbeitsmittel	Objekte	Gruppierungsbeziehungen	Raumbeziehungen	Arbeitsbeziehungen
Strukturierungstatbestände der Produktionsgesellschaft					
Ausstattung mit Arbeitsmitteln	Potentiell ein Produktionsraum	Struktur der Stückprozesse	Struktur der Produktivseinheiten		
- Einstellungs- und Entlassung von Arbeitskräften	- Gitterart	- Verkäntyp	- Bildung der Produktivseinheiten		
- Anschaffung und Verkauf maschineller Anlagen	- Gitterstruktur	- Orientierungsstellen			
- Beurkundungen der maschinellen Anlagen	- Bestandteile der Güter	- Auftreten von Zyklen			
- Räumliche Anordnung unterschiedlicher Anlagen	- Komplexität der Güter		- Organisationsstyp der Fertigung		
	- Anzahl der Güterarten				
	- Übereinstimmung der Güter				
	- Art der Güterstruktur				
Produktivseinheiten					
Leistungsbestandteile der Produktivseinheiten	Actualies Produktionsraum	Arbeitsverteilung	Gangfaktoren		
	- Materialerzeugen	- Verteilung der Arbeitsstufen	- Zeitliche Wechselfolge der Arbeitsschritte		
	- Marktieren der Produkte	- Zuordnung der Objekte zu Produkten	- Zeitliche Abstimmung von Gangfolgen		
	- Reihenfolge der Produktivseinheiten im Stückprozess	- Reihenfolge der Produktivseinheiten im Stückprozess	- zeitliche Ablaufplanung der Gangfolgen		
	- Festlegung der Einsatzzeitgrenzen				
	- Belebung der Produktivseinheiten je Stufe				

Abb. 4: Überblick über wichtige Strukturierungstatbestände des Produktionsprozesses

scheidung über ihren zeitlichen Vollzug. Durch die Verschiebung einzelner Gangfolgen lässt sich die Höhe der Lagerbestände zwischen aufeinanderfolgenden Produktiveinheiten beeinflussen.

Abbildung 4 auf Seite 54 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die gekennzeichneten Strukturierungstatbestände des Produktionsprozesses.

4. Ergebnismerkmale als Konsequenzen der Strukturierung des Produktionsprozesses

Die Strukturierung des Produktionsprozesses löst eine Reihe empirischer Konsequenzen aus. Als wichtige Klassen von Ergebnismerkmalen kann man Auswirkungen auf die Objekte, die Produktiveinheiten, die Subjekte, den Unternehmungserfolg und die Unternehmungsliquidität unterscheiden.

Mengenmäßige Auswirkungen auf die Objekte zeigen sich vor allem in der Höhe der Einsatz- und Ausbringungsmengen sowie der Lagerbestände bei Rohstoffen, Zwischen- und Endprodukten. Zeitliche Konsequenzen für die Objekte stellen insbesondere die Durchlaufzeiten und die Termineinhaltung dar. Unter der *Durchlaufzeit* eines Objektes, Loses oder Auftrags kann man die Zeitspanne verstehen, die es, „... beginnend mit dem Zeitpunkt der Bereitstellung für den ersten Arbeitsgang und endend mit dem Zeitpunkt des Vollzugs des letzten Arbeitsganges, benötigt, um den vorgeschriebenen Weg über die einzelnen Bearbeitungsstellen zurückzulegen.“¹

Bei vorgegebenem Produktionsprogramm verwendet man häufig die Minimierung der Summe aus den Durchlaufzeiten aller Objekte bzw. Aufträge als Ziel der Ablaufplanung². Zu demselben Ergebnis führt die Minimierung der mittleren Durchlaufzeit, die als Quotient aus der Summe aller Durchlaufzeiten und der Anzahl an Objekten bzw. Aufträgen definiert ist. Diesem Ziel entspricht bei gegebenen Produktions- und Transportzeiten je Objekt auch die Minimierung der Wartezeiten aller Objekte bzw. Aufträge. Ein weiteres mögliches Ziel stellt die Minimierung der *Zykluszeit* dar. Hierunter versteht man die Zeitdauer bis zur Fertigstellung des letzten Objektes bzw. Auftrags aus einem gegebenen Programm. Die *Termineinhaltung* ergibt sich durch eine Gegenüberstellung von Fertigstellungsterminen der Objekte bzw. Aufträge und zugesagten Liefterminen.

Als Ergebnismerkmale der *Produktiveinheiten* verwendet man in erster Linie Zeitgrößen. Die *Kapazitätsauslastung* einer Produktiveinheit entspricht dem

¹ Ellinger [Durchlaufzeit] 460.

² Vgl. zum folgenden Conway/Maxwell/Miller [Scheduling] 11 ff.; Günther [Dilemma] 26 ff.; Hoss [Fertigungsablaufplanung] 36 ff.; Mensch [Ablaufplanung] 42 ff.; Schweitzer [Probleme] 63 ff.; Schweitzer [Arbeitssynthese] 141 ff.; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 32 ff.; Siegel [Maschinenbelegungsplanung] 28 ff.; Sisson [Sequencing] 12.

Verhältnis zwischen der Summe aus Fertigungs- und Rüstzeiten und ihrer Belegungszeit. Ermittelt man die Kapazitätsauslastung jeweils für kurze Zeitintervalle, so wird deren Veränderung im Zeitablauf erkennbar. Die Gesamtbelegungszeit aller Produktiveinheiten umfaßt die Summe ihrer Fertigungs-, Rüst- und Leerzeiten. Deshalb führt bei gegebenen Fertigungs- und Rüstzeiten je Produktiveinheit eine Maximierung ihrer durchschnittlichen Kapazitätsauslastung zu demselben Ergebnis wie die Minimierung der Gesamtbelegungszeit, der Gesamtleerzeit sowie der durchschnittlichen Belegungszeit oder der durchschnittlichen Leerzeit.

Ein weiteres zeitliches Merkmal bildet die Summe der *Rüstzeiten* aller Produktiveinheiten. Ihre Ausprägung wird durch die Losgrößen bestimmt und kann darüber hinaus reihenfolgeabhängig sein. Häufig wird als Ergebnismerkmal taktierter Fertigungsprozesse der *Bandwirkungsgrad* herangezogen. Man kann ihn als das Verhältnis zwischen der Summe aller Fertigungszeiten an einem Objekt und dem Produkt aus der Anzahl der Produktiveinheiten (Stationen) einer Fertigungslinie mit ihrer Taktzeit definieren³. Dabei stellt die längste Fertigungszeit des Objekts in einer Produktiveinheit die Taktzeit dar.

Durch die Strukturierung des Produktionsprozesses können die *Zufriedenheit* der Mitarbeiter und sonstige persönliche Merkmale beeinflußt werden. Man kann annehmen, daß sich neben den Gruppierungs-, Kommunikations- und Machtbeziehungen auch die Bildung der Produktiveinheiten und die Arbeitsverteilung auf die Zufriedenheit der Mitarbeiter auswirken⁴. Dies kann sich unter anderem in den Fehlzeiten und in der Fluktuationsrate zeigen.

Die gekennzeichneten Ergebnismerkmale der Objekte und Produktiveinheiten werden vielfach als Suboptimierungsziele für den als Differenz zwischen Leistung und Kosten⁵ definierten *Unternehmungserfolg* angesehen. Darüber hinaus werden durch die Strukturierung des Produktionsprozesses die Einnahmen sowie Ausgaben und damit das Ziel der Erhaltung der *Zahlungsfähigkeit*⁶ beeinflußt. Die Ausstattung der Unternehmung mit Arbeitskräften und maschinellen Anlagen bestimmt weithin die Höhe der Lohn- und Gehaltskosten sowie der Abschreibungen. Von den Strukturierungstatbeständen des Produktionsvollzugs⁷ hängen insbesondere die Materialkosten für Roh-, Hilfs-

³ Hahn, R. [Produktionsplanung] 31 f.; vgl. auch REFA [Arbeitsstudium 2] 204.

⁴ Vgl. Neuberger [Arbeitszufriedenheit] 140 ff.; Ulich/Groskurth/Bruggemann [Arbeitsgestaltung] 64 ff.; Küpper [Mitbestimmung] 193 ff.

⁵ Zur Definition dieser Begriffe vgl. u. a. Schmalenbach [Selbstkostenrechnung] 257 ff.; Kosiol [Wesensmerkmale] 9 ff.; Menrad [Kostenbegriff] 16 ff.; Menrad [Kosten] 870 ff.; Heinen [Kostenlehre] 55 ff.; Schweitzer/Hettich/Küpper [Kostenrechnung] 28 ff. und 44 ff.

⁶ Zu diesem Merkmal vgl. Langen [Liquiditätsbegriff] 87; Langen [Prognose] 290 f.; Witte [Liquiditätspolitik] 15; Gutenberg [Produktion] 446 f.; Strobel [Liquidität] 624 ff.; Heinen [Zielsystem] 75; Schweizer, H. [Liquidität] 11 ff.

⁷ Vgl. zum folgenden Conway/Maxwell/Miller [Scheduling] 20 f.; Hoss [Fertigungsablaufplanung] 155 ff.; Mensch [Ablaufplanung] 42 ff.

und Betriebsstoffe, die Lohneinzelkosten der Fertigung, die Transportkosten sowie die Kosten der Lagerung von Rohstoffen, Zwischen- und Endprodukten ab. Letztere umfassen vor allem Kosten für Lagerraum, Lagerpersonal, Materialpflege und gebundene finanzielle Mittel⁸. Eine Veränderung der Produktionsgeschwindigkeiten kann mit einer Erhöhung des Ausschusses und des Verbrauchs an Betriebsstoffen sowie einer verstärkten Abnutzung der Arbeitsmittel verbunden sein⁹. Durch die Umrüstung der Produktiveinheiten entstehen Rüstkosten. Sie umfassen vor allem Personalkosten für den menschlichen Arbeitseinsatz und gegebenenfalls Kosten für den Betriebsstoffverbrauch während der Umrüstung¹⁰. Ihre Höhe kann durch die Art und Zeitdauer der Umrüstung bestimmt sein. Werden zugesagte Liefertermine überschritten, so können Verspätungskosten in Form von Konventionalstrafen, Schadensersatzleistungen o. ä. anfallen.

Die Höhe und die Realisationszeitpunkte der Leistungen hängen insbesondere von den Entscheidungen über das aktuelle Produktionsprogramm sowie von den Durchlaufzeiten ab. Je kürzer die Durchlaufzeiten sind, desto früher erfolgt die sachzielbezogene Güterentstehung und damit die Möglichkeit, Produkte am Markt zu verwerten.

Maßgeblich für die Berücksichtigung der verschiedenen Kostenarten bei der Lösung eines Entscheidungsproblems ist, ob ihre Höhe von dessen Entscheidungsalternativen abhängig ist¹¹. In einer Reihe von Modellen der Ablaufplanung werden neben den angeführten Kostenarten *Opportunitätskosten* in die Zielfunktion aufgenommen¹². Man bewertet vor allem Wartezeiten der Objekte, Leerzeiten der Produktiveinheiten und Terminüberschreitungen¹³ mit Opportunitätskostensätzen. Über diese sollen die durch eine Verlängerung der Durchlaufzeiten, eine verminderte Kapazitätsauslastung oder das Ausbleiben zukünftiger Kundenbestellungen entgangenen Erfolge erfaßt werden. Sie dienen in partiellen Entscheidungsmodellen zur Berücksichtigung des Einflusses von Strukturierungstatbeständen, die nicht simultan festgelegt werden. Die Bestimmung von Opportunitätskosten ist bislang äußerst schwierig und problematisch¹⁴. Ohne simultane Entscheidung über die interdependenten Strukturierungstatbestände lassen sie sich beim gegenwärtigen Forschungsstand nicht exakt ermitteln¹⁵. Ein zusätzliches Problem liegt darin, daß ihre exakte Höhe

⁸ Gutenberg [Produktion] 194.

⁹ Siegel spricht von Beschleunigungskosten. Siegel [Maschinenbelegungsplanung] 48.

¹⁰ Kilger [Plankostenrechnung] 338 f. und 451 ff.

¹¹ Vgl. Clark [Studies] 49; Kilger [Plankostenrechnung] 161 ff.

¹² Vgl. Ashour [Sequencing Theory] 60; Conway/Maxwell/Miller [Scheduling] 21; Günther [Dilemma] 35 ff. und 103; Gupta [Scheduling Systems] 176; Hoss [Fertigungsablaufplanung] 155; Kern [Optimierungsverfahren] 142; Mensch [Ablaufplanung] 53 ff.

¹³ Vgl. Fehr [Produktionsplanung] 132; Gere [Scheduling] 169; Hillier [Cost Models] 183; Siegel [Maschinenbelegungsplanung] 44.

¹⁴ Mensch [Ablaufplanung] 55 ff.; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 34 ff.

schon bei geringfügigen Datenänderungen stark variieren kann¹⁶. Ein Ansatz von Opportunitätskosten ist um so weniger erforderlich, je mehr Interdependenzen im Rahmen eines simultanen Entscheidungsmodells abgebildet sind.

Die durch den Produktionsprozeß entstehenden *Ausgaben* und *Einnahmen* können inhaltlich von den entsprechenden Kosten und Leistungen aufgrund wertmäßiger Unterschiede sowie Unterschieden im Ausgabencharakter abweichen¹⁷. Zeitliche Unterschiede beruhen vor allem darauf, daß für den Anfall von Ausgaben nicht der Güterverbrauch, sondern die Zeitpunkte und Konditionen der Güterbeschaffung sowie die Arbeitszeiten der Arbeitskräfte und die Regelung der Entlohnung maßgebend sind. Aus den zu Beginn des Planungszeitraums gebundenen finanziellen Mitteln sowie dem zeitlichen Anfall der Ausgaben und Einnahmen ergibt sich Höhe und Entwicklung der Bindung finanzieller Mittel im Produktionsprozeß während des Planungszeitraums¹⁸. Diese ist bestimmend für die Höhe der durch den Produktionsprozeß entstehenden Zinsen.

II. Input-Output-Ansatz einer mehrvariablen Produktionsfunktion

In einer Reihe von produktionstheoretischen Aussagensystemen werden bislang einzelne organisatorische Tatbestände wie die Anzahl der Lose¹, die Arbeitsverteilung und die Maschinenbelegung² als Einflußgrößen berücksichtigt. Eine Abbildung der strukturellen Verflechtungen zwischen den Produktionsstellen einer Unternehmung ist durch die Übertragung des von Leontief³ entwickelten Input-Output-Ansatzes auf betriebliche Produktionsprozesse gelungen, wie sie insbesondere von Kloock durchgeführt worden ist⁴. Dieser Ansatz stellt deshalb einen geeigneten Rahmen für eine Verbindung von Produktions-

¹⁵ Hax [Koordination] 132 ff.; Drumm [Lenkung] 256 f.; Schweitzer/Hettich/Küpper [Kostenrechnung] 379 ff. Auch die Vorschläge zur Dekomposition von Entscheidungsmodellen haben bisher zu keinem praktisch anwendbaren Verfahren geführt. Vgl. hierzu Adam [Kostenbewertung] 196 ff.

¹⁶ Kilger [Plankostenrechnung] 712.

¹⁷ Vgl. zum einzelnen Schmalenbach [Kostenrechnung] 6 ff.; Kosiol [Buchhaltung] 89 ff.; Heinen [Kostenlehre] 91 ff.; Menrad [Kostenbegriff] 16 ff.; Schweitzer/Hettich/Küpper [Kostenrechnung] 39 ff. und 52 ff.

¹⁸ Zu Verfahren und Problematik der Ermittlung des Kapitalbedarfs vgl. Gutenberg [Finanzen] 5 ff.; Heinen [Kapital] 15 ff.; Schneider, D. [Investition] 489 ff.; Schreglmann [Faktoren] 151 ff.

¹ Heinen [Kostenlehre] 278 f.; Laßmann [Erlösrechnung] 79 ff.; Franke [Betriebsmodelle] 67 ff.; Steffen [Elementarfaktoren] 130 ff.

² Heinen [Kostenlehre] 265 f.

³ Leontief [Structure] 34 ff.; Leontief [Input-output analysis] 134 ff.

⁴ Kloock [Input-Output-Modelle] 66 ff.; vgl. auch Vogel [Strukturbilanzen] 11 ff.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 46 ff. Auch Heinen erfaßt strukturelle Verflechtungen, ohne jedoch auf den Input-Output-Ansatz zurückzugreifen. Heinen [Kostenlehre] 267 ff.

theorie und Organisationstheorie dar. Er ist jedoch von *Kloock* statisch formuliert und erfaßt in erster Linie Arbeitsbeziehungen zwischen Produktionsstellen⁵. Gruppierungs-, Zeit- und Raumbeziehungen werden nicht oder äußerst unvollständig abgebildet. Zur Formulierung eines umfassenden produktions- und organisationstheoretischen Aussagensystems erscheint es daher notwendig, diesen Ansatz zu einem dynamischen Input-Output-Modell weiterzuentwickeln.

1. Statischer Input-Output-Ansatz der Produktionsfunktion

a) Grundlegende Komponenten des betriebswirtschaftlichen Input-Output-Modells

Das betriebswirtschaftliche Input-Output-Modell¹ bildet die Realgüterströme mengenmäßig ab, die zwischen einer Unternehmung und ihrer Umwelt sowie innerhalb der Unternehmung fließen. Zur Übertragung des makroökonomischen Input-Output-Modells² auf den betrieblichen Produktionsprozeß wird jede im Produktionsprozeß enthaltene Güterart als Output eines betrieblichen Teilprozesses interpretiert. Dies gelingt, indem man von außerhalb der Unternehmung bezogene (originäre) Einsatzgüter als Ausbringungsgüter von Beschaffungsprozessen auffaßt. Werden in einem Prozeß mehrere Kuppelprodukte gemeinsam erzeugt, so definiert man eine Güterart als ‚Hauptprodukt‘ und führt für die anderen ‚Nebenprodukte‘ fiktive Teilprozesse ein. Grundlegende Komponenten des betriebswirtschaftlichen Input-Output-Modells sind die Mengengleichungen der Güterarten, die Strukturmatrix und die Transformationsfunktionen.

Für jede Güterart des Produktionsprozesses wird eine *Mengengleichung* formuliert. Diese gibt wieder, daß die gesamte Ausbringungsmenge r_i eines Teilprozesses i zum Wiedereinsatz in anderen betrieblichen Teilprozessen j , zum Absatz und zur Veränderung ihres Lagerbestandes verwendet wird. Bezeichnet man die Menge der i -ten Güterart, die zur Herstellung der j -ten Güterart wiedereingesetzt wird, mit r_{ij} , die am Markt abgesetzte Menge dieser Güterart mit x_i und ihre Lagerbestandserhöhung mit Δl_i ³, so gilt für jede Güterart i die Mengengleichung B.1.:

⁵ Dabei werden aber die sich aus den Arbeitsbeziehungen ergebenden Transportprozesse nicht explizit erfaßt.

¹ Vgl. zum folgenden Kloock [Input-Output-Modelle] 87 ff.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 46 ff.

² Zu diesem vgl. Leontief [Structure] 34 ff.; Leontief [Input-output analysis] 134 ff.; Dorfman [Nature] 121 ff.; Jaksch [Wirtschaftsplanung] 18 ff.; Krelle [Gesamtrechnung] 142 ff.; Lange [Economics] 224 ff.; Platt [Input-Output-Analyse] 16 ff.; Schumann [Input-Output-Analyse] 30 ff.

³ Vgl. hierzu Schweitzer [Kostentheorie] 23 ff. Dabei wird unterstellt, daß Δl_i positive oder negative Werte annehmen kann, während r_i und r_{ij} nur nichtnegative Werte annehmen können.

$$r_i = \sum_j r_{ij} + x_i + \Delta l_i \quad (B.1)$$

Um auch *Kuppelprodukte* im Input-Output-Modell zu erfassen, wird davon ausgegangen, daß diese stets in starrem Mengenverhältnis erzeugt werden. Kuppelprozesse mit veränderlichem Mengenverhältnis werden in mehrere Prozesse mit jeweils starrem Mengenverhältnis und in der Regel unterschiedlichen Einsatz- und Verfahrensbedingungen zerlegt⁴. Die Ausbringungsmenge eines Nebenprodukts l ist somit durch die Ausbringungsmenge r_k des Hauptprodukts k eines Kuppelprozesses bestimmt. Deshalb ist es zweckmäßig, in der Mengengleichung des Nebenprodukts dessen Ausbringungsmenge als negative Einsatzmenge $-r_{lk}$ des Hauptprodukts zu definieren⁵ und an die Stelle der Ausbringungsmenge r_l Null zu setzen. Für Nebenprodukte von Kuppelprozessen lauten die Mengengleichungen demnach:

$$0 = -r_{lk} + \sum_j r_{lj} + x_l + \Delta l_l = \sum_j r_{lj} + x_l + \Delta l_l \quad (B.1a)$$

Im statischen Ansatz beziehen sich alle Variablen der Mengengleichungen auf denselben Zeitraum⁶. Bei den Ausbringungsmengen r_i und den Absatzmengen x_i sind lediglich nichtnegative Werte ökonomisch zulässig. Ein positiver Wert von r_{ij} gibt die Einsatzmenge der i -ten Güterart zur Herstellung der Güterart j an. Dagegen bezeichnet ein negativer Wert von r_{ij} die Ausbringungsmenge eines gemeinsam mit dem Hauptprodukt j anfallenden Kuppelproduktes i . Die Variable Δl_i ist bei Lagerbestandserhöhungen positiv und bei Lagerbestandsminderungen negativ. Der absolute Wert einer Lagerbestandsminderung darf weder größer sein als (1) der vorgegebene Lagerbestand zu Beginn des Beobachtungszeitraums noch als (2) die Summe aus Wiedereinsatzmenge und Absatzmenge dieser Güterart⁷.

Formuliert man für jede der Güterarten i bzw. $j = 1, \dots, J$ eine Mengengleichung, so kann der Güterfluß des gesamten Produktionsprozesses durch ein Gleichungssystem der Art B.2a

$$\begin{aligned} r_1 &= r_{11} + r_{12} + \dots + r_{1J} + x_1 + \Delta l_1 \\ &\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ r_J &= r_{J1} + r_{J2} + \dots + r_{JJ} + x_J + \Delta l_J \end{aligned} \quad (B.2a)$$

⁴ Vgl. Riebel [Kuppelproduktion] 91 ff.

⁵ Vgl. Feltham [Approaches] 13 ff.; Butterworth/Sigloch [Input-Output Model] 709 ff.

⁶ Zu diesem Begriff der Statistik vgl. Frisch [Dynamic Economics] 171 f.; Ott [Wirtschaftstheorie] 20 ff.

⁷ Kloock [Produktionsplanungsmodelle] 674; Chmielewicz [Erfolgsplanung] 149 ff.; Müller-Merbach [Operations Research] 261 ff.; vgl. auch Jaksch [Wirtschaftsplanung] 116 ff.

bzw. in Matrixschreibweise entsprechend B.2b

$$r = R \cdot e + x + \Delta l \quad (\text{B.2b})$$

wiedergegeben werden. In B.2b ist $e' = (1, 1, \dots, 1)$ der summierende Vektor. Die Güterflußmatrix R enthält die in der Unternehmung eingesetzten und die als Nebenprodukte in Kuppelprozessen anfallenden Gütermengen. Berücksichtigt man, welche Elemente von R ungleich Null sind, dann werden die strukturellen Verflechtungen zwischen den im Produktionsprozeß fließenden Güterarten erkennbar. Die Produktionsstruktur läßt sich durch eine *Strukturmatrix S* kennzeichnen, deren Elemente s_{ij} wie folgt definiert sind:

$$s_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{sofern die } i\text{-te Güterart direkt im } j\text{-ten Teilprozeß eingesetzt wird} \\ -1, & \text{sofern die } i\text{-te Güterart als Nebenprodukt eines Kuppelprozesses} \\ & \text{gemeinsam mit dem Hauptprodukt } j \text{ anfällt} \\ c_i, & \text{sonst} \end{cases}$$

Um zum Input-Output-Modell der Unternehmung zu gelangen, sind Hypothesen über die quantitativen Beziehungen zwischen den Einsatz- und Ausbringungsgütern der einzelnen Teilprozesse aufzustellen. Diese Hypothesen können Transformationsfunktionen genannt werden⁸. Jede *Transformationsfunktion* bildet für einen Teilprozeß j des gesamten Produktionsprozesses die quantitativen Beziehungen zwischen der Ausbringungsgütermenge r_j , den Einsatzgütermengen r_{ij} und gegebenenfalls sonstigen Bestimmungsgrößen b_j^1, \dots, b_j^B ab. Bei impliziter Schreibweise lautet eine Transformationsfunktion allgemein:

$$f_j(r_j, r_{1j}, \dots, r_{Jj}, b_j^1, \dots, b_j^B) = 0 \quad (\text{B.3a})$$

Diese Transformationsfunktion läßt sich so umformen, daß man für jede Prozeßart j ein System aus Gleichungen der Art B.3b

$$r_{ij} = f_{ij}(r_{1j}, \dots, r_{i-1,j}, r_{i+1,j}, \dots, r_{Jj}, b_j^1, \dots, b_j^B, r_j) \cdot r_j \quad (\text{B.3b})$$

erhält⁹. In dieser Form $r_{ij} = f_{ij}(\dots), r_j$ kann man die Transformationsfunktionen in das Gleichungssystem B.2a einsetzen. Dann ergibt sich das Gleichungssystem B.4:

$$\begin{aligned} r_1 &= f_{11}(\dots) \cdot r_1 + f_{12}(\dots) \cdot r_2 + \dots + f_{1J}(\dots) \cdot r_J + x_1 + \Delta l_1 \\ &\vdots && \vdots && \vdots && \vdots \\ r_J &= f_{J1}(\dots) \cdot r_1 + f_{J2}(\dots) \cdot r_2 + \dots + f_{JJ}(\dots) \cdot r_J + x_J + \Delta l_J \end{aligned} \quad (\text{B.4})$$

⁸ Kloock [Input-Output-Modelle] 44.

⁹ Kloock [Input-Output-Modelle] 44 ff.; Kloock [Input-Output-Analyse] 1955 ff.

Faßt man die in den Transformationsfunktionen B.3b enthaltenen direkten funktionalen Beziehungen $f_{ij}(\dots)$ zwischen den Einsatzmengen r_{ij} und den Ausbringungsmengen r_j der Teilprozesse in einer *Direktverbrauchsmatrix F* zusammen, so erhält man in Matrixschreibweise das Input-Output-Modell der Unternehmung¹⁰ B.5a:

$$r = F \cdot r + x + \Delta \ell \quad (B.5a)$$

Durch Umformung gelangt man zu dem Gleichungssystem B.5b¹¹:

$$r = (E - F)^{-1} \cdot (x + \Delta \ell) \quad (B.5b)$$

Die *Gesamtverbrauchsmatrix* $(E - F)^{-1}$ enthält neben den direkten auch die indirekten funktionalen Beziehungen zwischen den Teilprozessen. Der Ausbringungsvektor r umfaßt einerseits die originären Einsatzgütermengen als Ausbringungsmengen von Beschaffungsprozessen und andererseits die Mengen der in der Unternehmung hergestellten Güterarten. Wenn die Beschaffungsprozesse als erste m Teilprozesse des gesamten Produktionsprozesses nummeriert werden, geben die ersten m Gleichungen von B.5a

$$r_m = (E - F)_m^{-1} \cdot (x + \Delta \ell) \quad (B.5c)$$

die quantitativen Beziehungen zwischen originärem Gütereinsatz und den Absatzmengen sowie Lagerbestandsänderungen der Unternehmung wieder. Sie stellen einen allgemeinen Ansatz für die Produktionsfunktionen der Unternehmung dar.

b) Abbildung der Produktionsstruktur in der Strukturmatrix

Aus der Strukturmatrix S ist ersichtlich, zwischen welchen betrieblichen Teilprozessen direkte Input-Output-Beziehungen existieren. Sie eignet sich daher zur Analyse der Produktionsstruktur. Ihr Aufbau wird davon bestimmt, (1) wie die kleinsten betrieblichen Teileinheiten definiert und (2) wie diese zu größeren Einheiten zusammengefaßt werden.

In der Realität führt eine organisatorisch abgegrenzte Produktionsstelle häufig (unterschiedliche Arten von) Verrichtungen an verschiedenartigen Produkten durch. Deshalb wird hier der Teilprozeß und nicht die Produktionsstelle¹² als kleinste Einheit des Input-Output-Ansatzes verwendet. Die Abgrenzung der Teilprozesse ist so vorzunehmen, daß für jede Güterart eine Prozeßart definiert

¹⁰ Kloock [Input-Output-Modelle] 101 ff.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 46 ff.

¹¹ E bezeichnet die Einheitsmatrix.

¹² Kloock [Input-Output-Modelle] 42 ff. verwendet die Produktionsstelle als kleinste Teileinheit, sieht jedoch auf S. 95 ff. ihre weitere Unterteilung vor.

ist und jeder Prozeßart eine Ausbringungsgüterart entspricht. Hierdurch wird erreicht, daß die Strukturmatrix S und die Güterflußmatrix R quadratisch sind. Ihre Zeilen- und Spaltenzahlen hängen davon ab, wie scharf zwischen den im Produktionsprozeß fließenden Güterarten sowie einzelnen Prozeßarten differenziert wird. Jede Spalte von S bezieht sich auf eine Prozeßart. Sie zeigt, welche verschiedenen Güterarten der Zeilen zur Produktion der durch die Spalte bezeichneten Güterart eingesetzt werden. Dagegen wird aus jeder Zeile von S erkennbar, in welchen verschiedenen Prozeßarten und damit zur Produktion welcher Güterarten die durch eine Zeile bezeichnete Güterart eingesetzt wird¹³.

Zur Analyse der wichtigsten Beziehungsarten zwischen den einen Produktionsprozeß konstituierenden Teilprozessen faßt man diese nach geeigneten Merkmalen zu *Klassen* von Teilprozessen zusammen. Als Klassifikationsmerkmale bieten sich insbesondere die Verrichtungsart der Teilprozesse, Verwendungsart und Verbrauchscharakter ihrer Outputgüter sowie organisatorische Gesichtspunkte wie die Zuordnung von Teilprozessen und Produkten zu einem Stückprozeß, einer Produktiveinheit oder einer Abteilung an. Die Art der Klassenbildung richtet sich nach der Produktionsstruktur der betrachteten Unternehmung und nach dem Untersuchungszweck.

Für eine produktionstheoretische Analyse sind nach der Verrichtungsart Beschaffungs-, Fertigungs- und Absatzprozesse zu unterscheiden. Beschaffungsprozesse dienen vor allem zur Bereitstellung originärer Einsatzgüter wie menschlicher und maschineller Arbeit sowie von außen bezogener Roh-, Hilfs-¹⁴ und Betriebsstoffe. Die Fertigungsprozesse können beispielsweise in Prozesse zur Umrüstung von Produktiveinheiten, zur Eigenerzeugung von Betriebsstoffen (wie Energie und Werkzeugen) sowie zur Herstellung der Zwischen- und Endprodukte gegliedert werden. Das Ergebnis von Absatzprozessen besteht in der Verwertung von Gütern am Markt. Bezeichnet man die Prozeßarten durch die Indices A für bereitgestellte menschliche Arbeit, M für bereitgestellte maschinelle Arbeit, R für Rohstoffe, B für originäre Betriebsstoffe, C für selbsterzeugte Betriebsstoffe, U für Umrüstung, P für Zwischen- und Endprodukte sowie V für Absatz bzw. Vertrieb, so läßt sich die auf Seite 64 wiedergegebene zerlegte Strukturmatrix S^* bilden.

Eine Teilmatrix S_{IJ} der zerlegten Strukturmatrix S^* stellt eine Nullmatrix dar, wenn keine der durch ihren Zeilenindex I bezeichneten Güterarten in den durch ihren Spaltenindex J bezeichneten Prozeßarten eingesetzt wird. Durch eine Analyse der Nullmatrizen in S^* läßt sich eine erste grundlegende Kennzeichnung der Produktionsstruktur durchführen. Diese zeigt, zwischen wel-

¹³ Auf die Notwendigkeit einer Differenzierung nach Einsatzgüterarten weist Schreglmann hin. Schreglmann [Faktoren] 140 ff.

¹⁴ Hilfsstoffe können den Roh- oder den Betriebsstoffen zugerechnet werden, je nachdem, ob ihre Einsatzmengen in Abhängigkeit von den Herstellungsmengen an Produkten oder vom Arbeitseinsatz bestimmt werden.

B. Grundlagen zur Abbildung der Organisation

	Menschliche Arbeit	Maschinelle Arbeit	Rohstoffe	Fremdbezogene Betriebsstoffe	Eigenerzeugte Betriebsstoffe	Umrüstung	Produkte	Vertrieb
Menschliche Arbeit	s_{AA}	s_{AM}	s_{AR}	s_{AB}	s_{AC}	s_{AU}	s_{AP}	s_{AV}
Maschinelle Arbeit	s_{MA}	s_{MM}	s_{MR}	s_{MB}	s_{MC}	s_{MU}	s_{MP}	s_{MV}
Rohstoffe	s_{RA}	s_{RM}	s_{RR}	s_{RP}	s_{RC}	s_{RU}	s_{RP}	s_{RV}
Fremdbezogene Betriebsstoffe	s_{BA}	s_{BM}	s_{BR}	s_{BB}	s_{BC}	s_{BU}	s_{BP}	s_{BV}
Eigenerzeugte Betriebsstoffe	s_{CA}	s_{CM}	s_{CR}	s_{CP}	s_{CC}	s_{CU}	s_{CP}	s_{CV}
Umrüstung	s_{UA}	s_{UM}	s_{UR}	s_{UB}	s_{UC}	s_{UU}	s_{UP}	s_{UV}
Produkte	s_{PA}	s_{PM}	s_{PR}	s_{PB}	s_{PC}	s_{PU}	s_{PP}	s_{PV}
Vertrieb	s_{VA}	s_{VM}	s_{VR}	s_{VB}	s_{VC}	s_{VU}	s_{VP}	s_{VV}

B.6

chen Klassen von Teilprozessen eine gütermäßige Verflechtung besteht. Weitere Strukturmerkmale des Produktionsprozesses können anhand einzelner Teilmatrizen von S^* gekennzeichnet werden.

*c) Abbildung der Input-Output-Beziehungen
von Teilprozessen in Transformationsfunktionen*

Für die verschiedenartigen Teilprozesse der Unternehmung können unterschiedliche Typen von Transformationsfunktionen gelten. Es ist auch nicht ausgeschlossen, daß bestimmten Prozeßarten keine gesetzmäßigen Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung zugrunde liegen. In der Produktionstheorie sind mehrere Typen von Transformationsfunktionen entwickelt worden, deren empirische Geltung für bestimmte Prozeßarten bisher nur in begrenztem Umfang bestätigt worden ist. Sie werden im folgenden nach der Zahl ihrer unabhängigen Variablen, der Interdependenz zwischen den Bestimmungsgrößen und der Linearität der Input-Output-Beziehungen klassifiziert. Weitere Strukturmerkmale von Transformationsfunktionen sind insbesondere die Substituierbarkeit und Teilbarkeit der Einsatzgüter, die Veränderung der Skalenerträge und die Substitutionselastizität¹⁵.

Bei *einvariablen* Transformationsfunktionen sind die Einsatzmengen r_{ij} in einem Teilprozeß j lediglich von einer Bestimmungsgröße, im Normalfall der Ausbringungsmenge r_j , abhängig. Die Transformationsfunktion eines Teilprozesses j besteht dann allgemein aus einem System von Gleichungen der Art¹⁶ B.7:

$$r_{ij} = g_{ij}(r_j) = \frac{g_{ij}(r_j)}{r_j} \cdot r_j = f_{ij}(r_j) \cdot r_j \quad (B.7)$$

Wenn jeder Ausbringungsmenge r_j entsprechend B.7 eine Kombination der Einsatzgütermengen eindeutig zugeordnet ist, wird das Einsatzverhältnis als *limitational*¹⁷ bezeichnet. Sind die Beziehungen zwischen Einsatz- und Ausbringungsmengen proportional, handelt es sich entsprechend B.8 um Leontief-Funktionen:

$$r_{ij} = \alpha_{ij} \cdot r_j \quad \alpha_{ij} = \text{konstant} \quad (B.8)$$

Diese sind durch die Konstanz der Produktionskoeffizienten α_{ij} gekennzeichnet. Leontief-Funktionen können für den Werkstoffeinsatz als gut bestätigt gel-

¹⁵ Vgl. zum Überblick Krelle [Produktionstheorie] 22 f. und 91 ff.; Ott [Preistheorie] 105 ff.; Müller [Produktionstheorie] 72 ff.; Küpper [Produktionsfunktionen] 129 f. und 134.

¹⁶ Vgl. Gutenberg [Produktion] 337.

¹⁷ Frisch [Preistheorie] 64 ff.; Wittmann [Produktionstheorie] 46 und 102 ff.

ten¹⁸. Ferner werden sie häufig für den Einsatz an menschlicher und maschiner Arbeit unterstellt, sofern die Arbeitsintensität (annähernd) konstant ist. Dabei mißt man die Einsatzmenge an Arbeit durch die Einsatzzeit.

Transformationsfunktionen sind *mehrvariablig*¹⁹, wenn neben den Ausbringungsmengen der Teilprozesse weitere Einflußgrößen ihre effizienten Einsatzgütermengen bestimmen. Sie lassen sich nach der Interdependenz ihrer Bestimmungsgrößen des Gütereinsatzes in Transformationsfunktionen mit gegenseitig unabhängigen und gegenseitig abhängigen Einflußgrößen einteilen. Wenn der Einfluß einer Variablen auf die Höhe der Einsatzgütermenge von den Ausprägungen der anderen Bestimmungsgrößen *unabhängig* ist, besteht die Transformationsfunktion aus einer additiven Verknüpfung des Einflusses der verschiedenen Variablen und gegebenenfalls eines Absolutgliedes γ_{ij} . Bezeichnet man die weiteren Bestimmungsgrößen neben der Ausbringungsmenge r_j mit b_j^1, \dots, b_j^B so setzt sich dieser Typ von Transformationsfunktionen aus einem System von Gleichungen der Art B.9

$$\begin{aligned} r_{ij} &= f_{ij}(r_j) + \alpha_{ij}^1(b_j^1) + \dots + \alpha_{ij}^B(b_j^B) + \gamma_{ij} \\ &= f_{ij}(r_j) \cdot r_j + \alpha_{ij}^1(b_j^1) \cdot b_j^1 + \dots + \alpha_{ij}^B(b_j^B) \cdot b_j^B + \gamma_{ij} \end{aligned} \quad (\text{B.9})$$

zusammen. Jeder Einflußgröße ist ein bestimmter Anteil der Einsatzmenge eindeutig zurechenbar²⁰. Bei linearen Beziehungen bestehen diese Transformationsfunktionen aus Gleichungen der Art B.10

$$\begin{aligned} r_{ij} &= \alpha_{ij} \cdot r_j + \beta_{ij}^1 \cdot b_j^1 + \dots + \beta_{ij}^B \cdot b_j^B + \gamma_{ij} \\ \alpha_{ij}, \beta_{ij}^1, \dots, \beta_{ij}^B, \gamma_{ij} &= \text{konstant} \end{aligned} \quad (\text{B.10})$$

Affin lineare²¹ mehrvariablige Transformationsfunktionen entsprechend B.10 werden vor allem in der Einflußgrößenrechnung sowie in den auf Pichler zurückgehenden Modellen verwendet.

Die *Einflußgrößenrechnung*²² ist für die Eisen- und Stahlindustrie entwickelt worden und hat ein hohes Maß an empirischer Bestätigung erlangt. In ihr wer-

¹⁸ Gutenberg [Produktion] 337; Heinen [Kostenlehre] 259 f.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 60 ff.

¹⁹ Vgl. Schweitzer [Kostenremanenz] 971 ff.

²⁰ Zur Bedeutung dieses Tatbestands für die Kostenrechnung vgl. Laßmann [Erlösrechnung] 137 ff.; Franke [Betriebsmodelle] 120 ff.; Schweitzer/Hettich/Küpper [Kostenrechnung] 268 ff.

²¹ Vgl. Laßmann [Erlösrechnung] 74; Franke [Betriebsmodelle] 35.

²² Steffen/Steinecke [Einflußgrößenrechnung] 155 ff.; Wartmann [Entwicklung]; Wartmann [Erfassung] 1414 ff.; Laßmann [Erlösrechnung] 72 ff.; Franke [Betriebsmodelle] 30 ff.; Steffen [Elementarfaktoren] 128 ff.; Wittenbrink [Modell] 37 ff.

den Transformationsfunktionen für einzelne Einsatzgüterarten, Kostenstellen oder Teilbetriebe aufgestellt²³. Dabei unterscheidet man primäre und sekundäre Einflußgrößen. Primäre Einflußgrößen sind die unabhängigen Entscheidungsparameter der Unternehmung wie die Produktmengen, Losgrößen, Betriebszeiten oder die Schichtzahl sowie von außen vorgegebene, unbeeinflußbare Größen wie die Kalenderzeit oder Außentemperaturen. Ein Teil der Einsatzgüter ist in der Regel direkt von ihnen abhängig. Indirekte Beziehungen liegen vor, wenn die Höhe der Einsatzgütermengen unmittelbar durch sekundäre Einflußgrößen bestimmt wird. Zu diesen können u. a. Bearbeitungs-, Rüst-, Anlauf-, Auslauf- und Wartezeiten, einzelne Verrichtungsarten oder Betriebsstoffe gehören²⁴. Die Ausprägung der sekundären Einflußgrößen hängt von den primären Einflußgrößen eindeutig ab. Deshalb läßt sich das Gleichungssystem so umformen²⁵, daß die Abhängigkeit des Gütereinsatzes von den primären Einflußgrößen durch Transformationsfunktionen der Art. B.10 abgebildet wird.

Die von *Pichler*²⁶ entwickelten und die auf ihnen basierenden Modelle²⁷ haben in der chemischen Industrie einen hohen Bestätigungsgrad erlangt. In ihnen werden Durchsatzgrößen und gegebenenfalls sogenannte „Nebenbedingungen“ als Bestimmungsgrößen der Einsatzgüter- und der Endproduktmengen zugrunde gelegt. Durchsätze und Nebenbedingungen sind die Größen, mit denen Produktionsprozesse eindeutig gekennzeichnet werden können. Als Durchsätze können Einsatz- oder Ausbringungsmengen verwendet werden. Dabei können mehrere Durchsätze als Bestimmungsgrößen eines Prozesses herangezogen werden. Die Nebenbedingungen sind Bestimmungsgrößen, „... die aber nicht Güterquantitäten sind. Sie rekrutieren sich z. B. aus der Kalender- oder Betriebszeit, der Außen- oder Kühlwassertemperatur, der Anzahl von Dunkelstunden, der Abweichung der Materialqualität von einer vorgegebenen Basis oder schließlich aus Konstanten ...“²⁸. Es werden Durchsatzfunktionen formuliert, welche die Abhängigkeit der Einsatz- und der Ausbringungsmengen von Durchsatzgrößen und Nebenbedingungen wiedergeben. Da diese Funktionen linear sind und in ihnen der Einfluß verschiedener Durchsätze und Nebenbedingungen additiv verknüpft ist, lassen sie sich in Transformationsfunktionen der Art B.10 umformen²⁹.

²³ Laßmann [Erlösrechnung] 106 ff.; Franke [Betriebsmodelle] 50 ff. und 82 ff., insb. 93.

²⁴ Vgl. zum Überblick Steffen [Elementarfaktoren] 143 f.; Franke [Betriebsmodelle] 101.

²⁵ Laßmann [Erlösrechnung] 106 ff.; Steffen [Elementarfaktoren] 142.

²⁶ Pichler [Matrizenrechnung] 119 ff.; Pichler [Kostenrechnung] 29 ff.; Pichler [Betriebskostenüberwachung] 105 ff.

²⁷ Vgl. z. B. Lauenstein [Probleme]; Knop [Probleme]; Zschocke [Betriebsökonomie] 67 ff.

²⁸ Zschocke [Betriebsökonomometrie] 68.

²⁹ Vgl. hierzu auch Kloock [Input-Output-Modelle] 79 ff.

Bei einer Reihe mehrvariabler Transformationsfunktionen wird angenommen, daß der Einfluß einer Bestimmungsgröße auf die Einsatzmenge eines Gutes von den Ausprägungen der anderen Bestimmungsgrößen abhängt. Dann sind die Einflußgrößen nicht-additiv verknüpft. Eine derartige *Interdependenz* der Einflußgrößen ist bei substituierbaren Einsatzgütern gegeben. Sie wird ferner bei verschiedenen Verbrauchsfunktionen für den Einsatz von Betriebsstoffen unterstellt. In Transformationsfunktionen mit substituierbaren Einsatzgütern wird die Einsatzmenge r_{ij} eines Gutes i in einem Teilprozeß j gemäß B.11 durch dessen Ausbringungsmenge r_j und die Einsatzmengen der substituierbaren Güter $1, \dots, i-1, i+1, \dots, J$ bestimmt³⁰:

$$\begin{aligned} r_{ij} &= \sigma_{ij}(r_j, r_{1j}, \dots, r_{i-1,j}, r_{i+1,j}, \dots, r_{Jj}) \\ &= \varepsilon_{ij}\left(1, \frac{r_{1j}}{r_j}, \dots, \frac{r_{i-1,j}}{r_j}, \frac{r_{i+1,j}}{r_j}, \dots, \frac{r_{Jj}}{r_j}\right) \cdot r_j \end{aligned} \quad (\text{B.11})$$

Zu dieser Klasse von Transformationsfunktionen gehören *ertragsgesetzliche*, *Cobb-Douglas*- und *CES*-Funktionen.

Durch die von *Gutenberg*, *Kilger* und *Heinen* entwickelten *Verbrauchsfunktionen* wird der Einsatz von Betriebsstoffen an materiellen Potentialgütern abgebildet. Sie beruhen auf der Hypothese, daß die in einem Zeitraum an einer Anlage m eingesetzte Menge r_{im} von den technischen Eigenschaften der Anlage, ihrer Intensität δ_m und ihrer Fertigungszeit d_m abhängt. Mißt man die Leistungsabgabe der Anlage durch ihre Fertigungszeit, so erhält man bei Konstanz der technischen Eigenschaften nach *Gutenberg*³¹ und *Kilger*³² Verbrauchsfunktionen der Art B.12:

$$r_{im} = \hat{r}_{im}(\delta_m) + \delta_r + c_m \quad (\text{B.12})$$

*Kilger*³³ stellt die weitere Hypothese auf, daß eine Anlage m zur Herstellung einer Einheit der j -ten Produktart ξ_{mj} Verrichtungen (Arbeitseinheiten) durchführen muß. Da man die Anzahl ihrer Verrichtungen an dieser Produktart durch Multiplikation der hierbei aufgewandten Fertigungszeit d_{mj} der Anlage m mit deren Intensität δ_m erhält, werden die Beziehungen zwischen der Fertigungszeit d_{mj} und der Ausbringungsmenge r_j durch die Transformationsfunktion B.13

$$d_{mj} = \frac{1}{\delta_m} \cdot \xi_{mj} \cdot r_j \quad \xi_{mj} = \text{konstant} \quad (\text{B.13})$$

³⁰ Vgl. Kloock [Input-Output-Modelle] 134.

³¹ Gutenberg [Produktion] 329 ff.

³² Kilger [Produktionstheorie] 54 ff.

³³ Kilger [Produktionstheorie] 65 f.

abgebildet. Die Transformationsfunktionen B.12 und B.13 gehen bei konstanter Intensität in Leontief-Funktionen über³⁴. Ein Prozeß, der mit unterschiedlichen Intensitäten durchgeführt werden kann, läßt sich daher durch verschiedene Prozesse mit Leontief-Funktionen für jeweils konstante Intensitätsgrade approximativ wiedergeben³⁵.

Der Ansatz von *Gutenberg* und *Kilger* ist von *Heinen* verfeinert worden. Er untersucht die Abhängigkeit des Betriebsstoffverbrauchs von den Intensitätsverläufen der Anlagen. Ferner führt er als weitere Bestimmungsgrößen der Input-Output-Beziehungen die Ausbringungsmengen je einmaligem Vollzug eines Teilprozesses, Ausschußkoeffizienten, Verteilungskoeffizienten der Arbeitsverteilung sowie für substitutionale Prozesse die Intensitätsverläufe der in demselben Prozeß eingesetzten Anlagen ein. Die Abhängigkeit der Zwischen- von den Endproduktmengen wird durch Programmkoefizienten erfaßt, deren Struktur durch die genannten Einflußgrößen und die Produktionskoeffizienten des Werkstoffverbrauchs bestimmt ist. Bei Rüstprozessen tritt die Losgröße als zusätzliche Einflußgröße hinzu³⁶. *Heinen* berücksichtigt in den Verteilungskoeffizienten und den Losgrößen organisatorische HandlungsvARIABLEN. Die Ausprägung dieser Größen wird jedoch als vorgegeben unterstellt. Die Auswirkungen alternativer Arbeitsverteilungen und Losgrößen auf die Gütereinsatz- und -ausbringungsmengen sowie auf deren zeitliche Verteilung werden nicht abgebildet.

Die gekennzeichneten Typen von Transformationsfunktionen sind in Abbildung 5 im Überblick wiedergegeben.

d) Herleitung der Produktionsfunktion

Die Produktionsfunktion einer Unternehmung läßt sich mit Hilfe des Input-Output-Ansatzes herleiten, indem man für eine durch die Strukturmatrix S bestimmte Produktionsstruktur die Transformationsfunktionen der Teilprozesse in die Direktverbrauchsmatrix F einsetzt. Betrachtet man die Absatzmengen und die Lagerbestandsänderungen als unabhängige HandlungsvARIABLEN, so ist das allgemeine Input-Output-Modell in der Form B.5b³⁷:

$$\tau = (E - F)^{-1} \cdot (x + \Delta \ell)$$

³⁴ Gutenberg [Produktion] 336; Kilger [Produktionstheorie] 68 f.; Heinen [Kostenlehre] 121 ff.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 93 f.

³⁵ Albach [Produktionsplanung] 64; Jacob [Produktionsplanung] 216 und 249 ff.; Swo-boda [Anpassung] 134 ff.

³⁶ Zur ausführlichen Kennzeichnung vgl. Heinen [Kostenlehre] 220 ff.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 111 ff.

³⁷ Vgl. Seite 62.

Funktionstyp:	
1. Einvariabige Transformationsfunktionen 11. Allgemeiner Ansatz 12. Leontief-Funktion	$r_{ij} = f_{ij}(r_j) \cdot r_j$ $r_{ij} = a_{ij} \cdot r_j$
2. Mehrvariabige Transformationsfunktionen 21. Unabhängige Einflußgrößen 211. Allgemeiner Ansatz 212. Linearer Ansatz	$r_{ij} = f_{ij}(r_j) \cdot r_j + q_{ij}^1(b_j^1) b_j^1 + \dots + q_{ij}^B(b_j^B) b_j^B + \gamma_{ij}$ $r_{ij} = a_{ij} \cdot r_j + \beta_{ij}^1 \cdot b_j^1 + \dots + \beta_{ij}^B \cdot b_j^B + \gamma_{ij}$
22. Interdependente Einflußgrößen 221. Allgemeiner Ansatz 222. Verbrauchsfunktion des Betriebsstoffeinsatzes	$r_{ij} = f_{ij}\left(1, \frac{r_{1j}}{r_j}, \dots, \frac{r_{i-1,j}}{r_j}, \frac{r_{i+1,j}}{r_j}, \dots, \frac{r_{Jj}}{r_j}\right) \cdot r_j$ $r_{im} = f_{im}(\delta_m) \cdot \delta_m \cdot d_m \quad \text{mit } d_m = \sum_j \frac{1}{\delta_m} \cdot \xi_{mj} \cdot r_j$

Abb. 5: Überblick über wichtige Typen von Transformationsfunktionen

zugrunde zu legen. Aus der in diesem outputorientierten Ansatz enthaltenen Gesamtverbrauchsmatrix $(E-F)^{-1}$ werden die Interdependenzen zwischen den Teilprozessen erkennbar. Ihre Elemente f_{ij}^* geben an, welche Menge der i-ten originären bzw. derivativen Einsatzgüterart bereitgestellt bzw. hergestellt werden muß, damit eine Einheit der j-ten Güterart zum Absatz oder zur Lagerbestandserhöhung aus dem Produktionsprozeß abfließen kann.

Sofern für alle oder mehrere Teilprozesse lineare Transformationsfunktionen mit mehreren gegenseitig unabhängigen Bestimmungsgrößen entsprechend Gleichung B.10³⁸ gelten, faßt man die konstanten Koeffizienten α_{ij} , $\beta_{ij}^1, \dots, \beta_{ij}^B$ und γ_{ij} zweckmäßigerweise jeweils in eigenen Direktverbrauchsmatrizen A sowie B^1, \dots, B^B und C zusammen. Man erhält dann an Stelle von B.5a das Gleichungssystem B.14a

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ \vdots \\ r_J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}, \dots, r_{1J} \\ \vdots \\ r_{J1}, \dots, r_{JJ} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{11}^1, \dots, \beta_{1J}^1 \\ \vdots \\ \beta_{J1}^1, \dots, \beta_{JJ}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_J \end{bmatrix} + \dots + \begin{bmatrix} \beta_{11}^B, \dots, \beta_{1J}^B \\ \vdots \\ \beta_{J1}^B, \dots, \beta_{JJ}^B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1^B \\ \vdots \\ b_J^B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_{11}, \dots, \gamma_{1J} \\ \vdots \\ \gamma_{J1}, \dots, \gamma_{JJ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_J \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \vdots \\ \Delta_J \end{bmatrix}$$

(B.14a)

bzw. in Matrixschreibweise, wenn $b^1 = (b_1^1, \dots, b_J^1)$ bis $b^B = (b_1^B, \dots, b_J^B)$ die Vektoren der weiteren Bestimmungsgrößen und $e' = (1, 1, \dots, 1)$ den summierenden Vektor bezeichnen:

$$r = A \cdot r + B^1 \cdot b^1 + \dots + B^B \cdot b^B + C \cdot e + x + \Delta \ell \quad (\text{B.14b})$$

Dann tritt an die Stelle von B.5b das Gleichungssystem B.14c:

$$r = (E - A)^{-1} \cdot [B^1 \cdot b^1 + \dots + B^B \cdot b^B + C \cdot e + x + \Delta \ell] \quad (\text{B.14c})$$

Um die Gesamtverbrauchsmatrix bestimmen zu können, muß die zu invertierende Matrix $(E - F)$ [bzw. $(E - A)$] *quadratisch* und *nichtsingulär* sein. Die Bedingung gleicher Zeilen- und Spaltenzahl wird erfüllt, indem man jeder Güterart genau eine Prozeßart zuordnet. Die Matrix $(E - F)$ ist *nichtsingulär*, wenn ihre Determinante nicht den Wert Null annimmt³⁹. Sie darf deshalb keine linear abhängigen Zeilen- oder Spaltenvektoren enthalten⁴⁰. Da ein Eigenverbrauch von einer Einheit je Ausbringungseinheit (d. h. $f_{ii} = 1$) ökonomisch nicht möglich ist, weist die Matrix $(E - F)$ auf der Hauptdiagonalen stets (von Null verschiedene) positive Elemente auf. Somit enthält sie keine Nullzeilen oder -spalten. Ferner ist es nicht möglich, daß die Elemente zweier Zeilen

³⁸ Vgl. Seite 66.

³⁹ Zurmühl [Matrizen] 12 ff. und 32 ff.

⁴⁰ Vgl. hierzu auch Schumann [Input-Output-Analyse] 40.

oder Spalten zueinander proportional sind. In diesem Fall müßten nämlich entsprechend Abbildung 6 zwei symmetrisch zur Hauptdiagonalen angeordnete Elemente positiv sein. Positive Elemente außerhalb der Hauptdiagonalen treten nur bei Kuppelprozessen auf⁴¹. Proportionalität zwischen zwei Zeilen oder Spalten würde entsprechend den Beispielen von Abbildung 6 bedeuten, daß jedes der beiden Produkte, die durch die Spalten der positiven Elemente außerhalb der Hauptdiagonalen wiedergegeben werden, zugleich Haupt- und Nebenprodukt desselben Kuppelprozesses ist. Dies ist ex definitione ausgeschlossen⁴². Daher kann man aus ökonomischen Gründen unterstellen, daß $(E - F)$ in der Regel nichtsingulär ist.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & -2 \\ 0 & 1 & 1 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

a)

$$\begin{bmatrix} 1 & -2 & -3 & -4 \\ 0 & 0,5 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

b)

Abb. 6: Beispiele für Matrizen $(E - F)$ mit linearabhängigen a) Zeilen und b) Spalten.

Sofern keine Kuppelprozesse existieren, darf die Gesamtverbrauchsmatrix $(E - F)^{-1}$ aus ökonomischen Gründen lediglich nichtnegative Elemente enthalten, damit keine negativen Ausbringungsmengen r_i auftreten können. Diese Bedingung ist bei Leontief-Transformationsfunktionen stets erfüllt, wenn die Produktionsstruktur keine Zyklen enthält⁴³. Geht man bei zyklischer Struktur von unbewerteten Mengenrelationen⁴⁴ aus, so muß die Multiplikation der Produktionskoeffizienten α_{ij} , die auf einem Zyklus liegen, einen Wert kleiner als Eins ergeben. Für den Fall mehrerer miteinander verbundener Zyklen lassen sich präzisere Bedingungen für die zulässigen Werte der Produktionskoeffizienten mit Hilfe der Mason-Formel⁴⁵ angeben.

Bei Kuppelprozessen muß der Bedarf an Nebenprodukten für Wiedereinsatz, Absatz und Lagerbestandsänderung mindestens so groß wie ihre vom Hauptprodukt abhängige Herstellungsmenge sein. Daher können im Normalfall die Lagerbestandsänderungen der Nebenprodukte nicht als unabhängige Variablen behandelt werden.

⁴¹ Vgl. Seite 60.

⁴² Die beiden überprüften Bedingungen sind notwendig, aber nicht hinreichend für die Nichtsingularität von $(E - F)$. Vgl. Dietrich/Stahl [Matrizen] 58 f. Weitere generelle Aussagen erscheinen aber nicht formulierbar.

⁴³ Kloock [Input-Output-Modelle] 74 f.

⁴⁴ Zur Beweisführung durch den Übergang auf Mengen, die mit normierten Verrechnungspreisen bewertet sind, vgl. Kloock [Input-Output-Modelle] 89 ff.

⁴⁵ Vgl. hierzu Naslin [Dynamik] 84 ff.

Leistungsfähige Rechenverfahren zur Bildung der Kehrmatrix von $(E - F)$ liegen für den Fall linearer Transformationsfunktionen vor⁴⁶. Schwierige Rechenprobleme können bei nicht-linearen Transformationsfunktionen auftreten⁴⁷. Vielfach wird eine Anwendung iterativer Verfahren zur näherungsweisen Berechnung der Kehrmatrix erforderlich sein. Beispielsweise kann die Gesamtverbrauchsmatrix approximativ mithilfe der Neumannschen Reihe bestimmt werden, die gegen die Kehrmatrix konvergiert⁴⁸.

Durch eine zweckmäßige Zerlegung der Matrix $(E - F)$ und die Anwendung der Regeln zur Inversion zerlegter Matrizen⁴⁹ lässt sich die Bestimmung der Gesamtverbrauchsmatrix erleichtern, wenn die zerlegte Direktverbrauchsmatrix F^* eine größere Zahl von Nullmatrizen als Teilmatrizen enthält. Zur Kennzeichnung dieses Verfahrens wird eine Direktverbrauchsmatrix F^* unterstellt, die entsprechend der Strukturmatrix S^* B.6⁵⁰ zerlegt ist und die unter B.15 angegebene Struktur aufweist.

	Menschliche Arbeit	Maschinelle Arbeit	Rohstoffe	Fremdbezogene Betriebsstoffe	Eigenerzeugte Betriebsstoffe	Umrüstung	Produkte	Vertrieb
Menschliche Arbeit	δ_{AA}	F_{AM}	F_{AR}	F_{AF}	F_{AC}	F_{AU}	F_{AF}	F_{AV}
Maschinelle Arbeit	δ_{MA}	δ_{MM}	δ_{MR}	δ_{MP}	F_{MC}	δ_{MU}	F_{MF}	F_{MV}
Rohstoffe	δ_{RA}	δ_{RM}	δ_{RR}	δ_{RP}	δ_{RC}	δ_{RU}	F_{RP}	F_{RV}
Fremdbezogene Betriebsstoffe	δ_{BA}	F_{BM}	δ_{BD}	δ_{BF}	F_{BC}	F_{BH}	δ_{BP}	F_{BV}
Eigenerzeugte Betriebsstoffe	δ_{CA}	F_{CM}	δ_{CR}	δ_{CH}	δ_{CC}	F_{CU}	δ_{CP}	F_{CV}
Umrüstung	δ_{JA}	δ_{JM}	δ_{JR}	δ_{JF}	δ_{JC}	δ_{JU}	F_{JP}	δ_{JV}
Produkte	δ_{PA}	δ_{PM}	δ_{PO}	δ_{PF}	δ_{PC}	δ_{PJ}	F_{PF}	F_{PV}
Vertrieb	δ_{VA}	δ_{VM}	δ_{VR}	δ_{VF}	δ_{VC}	δ_{VU}	δ_{VP}	δ_{VY}

(B.15)

Ihr liegen folgende Annahmen zugrunde: Menschliche Arbeit wird in allen anderen Prozeßarten eingesetzt, während maschinelle Arbeit zur Eigenerzeugung von Betriebsstoffen (F_{MC}) und Produkten (F_{MP}) verwendet wird. Die Teilmatrizen der letzten Spalte geben an, daß menschliche sowie maschinelle Arbeit vermietet (F_{AV} , F_{MV}) und Rohstoffe (F_{RV}), fremdbezogene (F_{BV}) sowie eigenerzeugte Betriebsstoffe (F_{CV}) und Produkte (F_{PV}) abgesetzt werden. Rohstoffe werden darüber hinaus zur Produktfertigung (F_{RP}) verwendet. Fremdbe-

⁴⁶ Zur separaten Behandlung weniger Zyklen, durch welche die Berechnung der Kehrmatrix vereinfacht wird, vgl. Müller-Merbach [Anwendung] 190 ff.

⁴⁷ Kloock [Produktionstheorie] 64; Kloock [Input-Output-Modelle] 113 ff.

⁴⁸ Vgl. Debreu/Herstein [Matrices] 603 ff.; Faddejew/Faddejewa [Algebra] 141 ff.

⁴⁹ Vgl. hierzu Ayres [Matrices] 56 f.; Faddejew/Faddejewa [Algebra] 201 ff.; Vogel [Matrizenrechnung] 57 ff.

⁵⁰ Vgl. Seite 64. Den Indices kommt dieselbe Bedeutung wie in B.6 zu.

zogene Betriebsstoffe werden zum Betreiben maschineller Anlagen (F_{BM}), zur Umrüstung (F_{BU}) und als Ausgangsstoffe zur Eigenerzeugung von Betriebsstoffen (F_{BC}) benötigt. Selbsterzeugte Betriebsstoffe setzt man an Maschinen (F_{CM}) und zur Umrüstung (F_{CU}) ein. Vereinfachend wird unterstellt, daß die Zahl der Umrüstungen vom Produktionsprogramm abhängt (F_{UP}). Die Verflechtungen unter Zwischen- und Endprodukten wird durch die Teilmatrix F_{PP} erfaßt. Alle anderen Teilmatrizen sind Nullmatrizen, da zwischen den durch sie bezeichneten Güter- und Prozeßarten keine direkten Beziehungen bestehen sollen.

Charakteristisch für die angenommene Produktionsstruktur ist das Vorliegen eines Produktionszyklus, indem maschinelle Arbeit zur Eigenerzeugung von Betriebsstoffen (F_{MC}) und diese Betriebsstoffe zum Betreiben der(selben) Maschinen (F_{CM}) eingesetzt werden. Zum Beispiel kann ein Eigenverbrauch selbsterzeugter Energie vorliegen. Zyklische Verflechtungen kann ferner die Matrix F_{PP} der Zwischen- und Endprodukte enthalten. Für die Inversion ist es zweckmäßig, einige Zeilen und Spalten von F^* so zu vertauschen, daß möglichst viele Nullmatrizen unterhalb der Hauptdiagonalen stehen. Nach Subtraktion der zerlegten Einheitsmatrix E^* erhält man die unter B.16 angegebene, zu invertierende Matrix ($E^* - F^*$):

$$(E^* - F^*) = \begin{bmatrix} E_{AA} & -F_{AB} & -F_{AM} & -F_{AC} & -F_{AU} & -F_{AR} & -F_{AP} & -F_{AV} \\ 0_{RA} & E_{BR} & -F_{BM} & -F_{RC} & -F_{BU} & 0_{ER} & 0_{RP} & -F_{EV} \\ 0_{MA} & 0_{MB} & E_{MM} & -F_{MC} & 0_{MU} & 0_{MR} & -F_{MP} & -F_{MV} \\ 0_{CA} & 0_{CB} & -F_{CM} & E_{CC} & -F_{CU} & 0_{CR} & 0_{CP} & -F_{CV} \\ 0_{JA} & 0_{JB} & 0_{JM} & 0_{JC} & E_{JU} & 0_{JR} & -F_{JP} & 0_{JV} \\ 0_{RA} & 0_{RB} & 0_{RM} & 0_{RC} & 0_{RU} & E_{RR} & -F_{RP} & -F_{RV} \\ 0_{PA} & 0_{PR} & 0_{PM} & 0_{PC} & 0_{PJ} & 0_{PN} & E_{PP} - F_{PP} & -F_{PV} \\ 0_{VA} & 0_{VP} & 0_{VM} & 0_{VC} & 0_{VJ} & 0_{VR} & 0_{VF} & E_{VV} \end{bmatrix} \quad (\text{B.16})$$

Durch wiederholte Anwendung der Regeln zur Inversion zerlegter Matrizen auf unterschiedliche Teilmatrizen von ($E^* - F^*$) gelangt man zu der auf Seite 75 in Abbildung 7 wiedergegebenen zerlegten Gesamtverbrauchsmatrix⁵¹ B.17. Aus ihr sind die Interdependenzen zwischen den verschiedenen Prozeß- und Güterarten bei dieser (als Beispiel angenommenen) Produktionsstruktur ersichtlich.

⁵¹ Zur Herleitung und Überprüfung dieser Matrix vgl. Anhang I und die Berechnung von $(E^* - F^*)^{-1} \cdot (E^* - F^*) = E$ in Anhang II auf Seite 283 f.

	Leistungliche Arbeit	Freigabe-zogene Betriebsstoffe	Maschinelle Arbeit	Eigenerzeugte Betriebsstoffe	Umüstung	Hohstoffe	Produkte	Vertrieb
Menschliche Arbeit	E_{AA}	F_{AB}	$(F_{AM} + F_{AB} F_{BM}) \bar{F}_{MM} + (F_{AM} + F_{AB} F_{BM}) F_{MC} \bar{F}_{CC} + (F_{AC} + F_{AB} F_{BC}) \bar{F}_{CC} F_{CM}$	$(F_{AM} + F_{AB} F_{BM}) F_{MC} \bar{F}_{CC} F_{CU} + (F_{AC} + F_{AB} F_{BC}) \bar{F}_{CC} F_{CU} + F_{AU} + F_{AB} F_{BU}$	F_{AR}	$(F_{AM} + F_{AB} F_{BM}) \bar{F}_{MP} + (F_{AC} + F_{AB} F_{BC}) \bar{F}_{CP} + (F_{AU} + F_{AB} F_{BU}) F_{UP} \bar{F}_{PP} + F_{AR} F_{RP} \bar{F}_{PP} + F_{AP} \bar{F}_{PP}$	$(F_{AM} + F_{AB} F_{BM}) \bar{F}_{MV} + (F_{AC} + F_{AB} F_{BC}) \bar{F}_{CV} + (F_{AU} + F_{AB} F_{BU}) F_{UP} \bar{F}_{PP} F_{PV} + F_{AR} F_{RV} + F_{AR} F_{RP} \bar{F}_{PP} F_{PV} + F_{AP} \bar{F}_{PP} F_{PV} + F_{AV} + F_{AB} F_{BV}$	
freigabezogene Betriebsstoffe	\varnothing_{AS}	\varnothing_{BS}	$F_{BM} \bar{F}_{MM} + F_{BC} \bar{F}_{CC} F_{CM}$	$F_{BM} F_{MC} \bar{F}_{CC} + F_{BC} \bar{F}_{CC}$	$F_{BM} \bar{F}_{MU} + F_{BC} \bar{F}_{CU}$	\varnothing_{BR}	$F_{BM} \bar{F}_{MP} + F_{BC} \bar{F}_{CP} + F_{BU} F_{UP} \bar{F}_{PP}$	$F_{BM} \bar{F}_{MV} + F_{BC} \bar{F}_{CV} + F_{BU} F_{UP} \bar{F}_{PP} F_{PV} + F_{BV}$
Maschinelle Arbeit	\varnothing_{VA}	\varnothing_{MB}	$\bar{F}_{MM} = F_{MM} + F_{MC} \bar{F}_{CC} F_{CM}$	$F_{MC} \bar{F}_{CC}$	$\bar{F}_{MU} = F_{MC} \bar{F}_{CC} F_{CU}$	\varnothing_{MR}	$\bar{F}_{MP} = F_{MC} \bar{F}_{CC} F_{CU} F_{UP} \bar{F}_{PP} + \bar{F}_{MM} F_{MP} \bar{F}_{PP}$	$\bar{F}_{MV} = F_{MC} \bar{F}_{CC} F_{CU} F_{UP} \bar{F}_{PP} F_{PV} + \bar{F}_{MM} F_{MP} \bar{F}_{PP} F_{PV} + \bar{F}_{MM} F_{MV} + F_{MC} \bar{F}_{CC} F_{CV}$
eigen erzeugte Betriebsstoffe	\varnothing_{CA}	\varnothing_{CB}	$\bar{F}_{CC} F_{CM}$	$\bar{F}_{CC} = (E_{CC} - F_{CM} F_{MC})^{-1}$	$\bar{F}_{CU} = \bar{F}_{CC} F_{CU}$	\varnothing_{CR}	$\bar{F}_{CP} = F_{CC} F_{CU} F_{UP} \bar{F}_{PP} + F_{CC} F_{CM} F_{MP} \bar{F}_{PP}$	$\bar{F}_{CV} = \bar{F}_{CC} F_{CU} F_{UP} \bar{F}_{PP} F_{PV} + \bar{F}_{CC} F_{CM} F_{MP} \bar{F}_{PP} F_{PV} + \bar{F}_{CC} F_{CM} F_{MV} + \bar{F}_{CC} F_{CV}$
Umüstung	\varnothing_{UA}	\varnothing_{UB}	\varnothing_{UM}	\varnothing_{UC}	E_{UU}	\varnothing_{UR}	$F_{UP} \bar{F}_{PP}$	$F_{UP} \bar{F}_{PP} F_{PV}$
Hohstoffe	\varnothing_{RA}	\varnothing_{RB}	\varnothing_{RM}	\varnothing_{RC}	\varnothing_{RU}	\varnothing_{RR}	$F_{RP} \bar{F}_{PP}$	$F_{RP} \bar{F}_{PP} F_{PV} + F_{RV}$
Produkte	\varnothing_{PA}	\varnothing_{PB}	\varnothing_{PM}	\varnothing_{PC}	\varnothing_{PU}	\varnothing_{PR}	$\bar{F}_{PP} = (E_{PP} - F_{PP})^{-1}$	$\bar{F}_{PP} F_{PV}$
Vertrieb	\varnothing_{VA}	\varnothing_{VB}	\varnothing_{VM}	\varnothing_{VC}	\varnothing_{VU}	\varnothing_{VR}	\varnothing_{VP}	E_{VV}

Abb 7: Zerlegte Gesamtverbrauchsmatrix $(E^* - F^*)^{-1}$ [= B.17]

2. Entwicklung eines dynamischen Input-Output-Ansatzes der Produktionsfunktion

a) Notwendigkeit der Formulierung eines dynamischen Input-Output-Ansatzes

Die Strukturmatrix S des statischen Input-Output-Ansatzes gibt *Arbeitsbeziehungen* zwischen den Teilprozessen einer Unternehmung wieder. Sie charakterisiert die Existenz dieser Beziehungen bei stationärem Verhalten der Bestimmungsgrößen im Zeitablauf. Die Ergebnisse des statischen Modells können daher als „Gleichgewichtslösung“ eines dynamischen Modells interpretiert werden. Durch geeignete Anordnung und Bezeichnung der Teilprozesse lassen sich in der Strukturmatrix ferner *Gruppierungsbeziehungen* zwischen Subjekten bzw. Arbeitsmitteln kennzeichnen, indem die zu einer Gruppe (z. B. Fertigungslinie, Werkstatt, Abteilung) gehörenden Subjekte und Arbeitsmittel bzw. die von ihnen vollzogenen Teilprozesse unmittelbar nacheinander angeordnet werden. Man erhält Teilmatrizen, die sich auf bestimmte Gruppen bzw. Arbeitsmittel beziehen. Wichtige Gruppierungsbeziehungen zwischen Objekten entstehen durch die Lagerbildung und die Fertigung in Losen. In das statische Modell können die Lagerbestandsänderungen einer *einzigsten* Periode als Differenz zwischen Lagerend- und -anfangsbeständen einbezogen werden. Der Einfluß der Losgrößen kann durch eine gesonderte Erfassung von Rüstprozessen lediglich näherungsweise berücksichtigt werden. Das statische Input-Output-Modell ist somit nur geeignet, einzelne Arbeits- und Gruppierungsbeziehungen abzubilden.

Die Organisation des Produktionsprozesses umfaßt darüber hinaus Raum- und Zeitbeziehungen. Eine exakte Erfassung der *Raumbeziehungen* erfordert die Beschreibung der räumlichen Anordnung von Subjekten, Arbeitsmitteln und Objekten. Der Input-Output-Ansatz müßte um die Raumdimension der Elemente erweitert werden. Räumliche Beziehungen zwischen Produktiveinheiten kommen im Organisationstyp der Fertigung zum Ausdruck, während die räumliche Zuordnung von Objekten zu Produktiveinheiten durch die Arbeitsverteilung festgelegt wird. Die Raumbeziehungen zwischen den Produktiveinheiten sind vor allem für die Art und zeitliche Dauer der Transportprozesse bestimmd. Sie wirken sich also auf die zeitliche Struktur des Produktionsprozesses aus. Wenn es gelingt, den Organisationstyp der Fertigung, die Arbeitsverteilung und die Zeitdauer von Transportprozessen im Input-Output-Modell zu erfassen, können daher wichtige Raumbeziehungen indirekt berücksichtigt werden. Damit erscheint die Einführung der Raumdimension nicht unbedingt erforderlich.

Von grundlegender Bedeutung erweist sich demnach die Abbildung der *Zeitbeziehungen*¹. Hierzu ist es notwendig, einen dynamischen Input-Output-An-

¹ Langen [Statistik] 2307 f.; Langen [Dispositionsrechnung] 232.

satz zu entwickeln. Ein theoretisches Aussagensystem wird als dynamisch bezeichnet, wenn es Abhängigkeiten zwischen Variablen enthält, deren Werte sich auf unterschiedliche Zeitpunkte oder Zeiträume beziehen².

Eine grundlegende Ursache für das Vorliegen zeitlicher Beziehungen im Produktionsvollzug ist darin zu sehen, daß die Durchführung von Produktionsprozessen Zeit beansprucht. Der Fertigstellungszeitpunkt eines Produkts in einem Arbeitsgang ist vom Beginn und von der Dauer dieses Arbeitsganges abhängig. Des weiteren können sich Zeitbeziehungen wegen der begrenzten Kapazität der Produktiveinheiten, der Mehrstufigkeit von Stückprozessen und der Fertigung in Losen ergeben. Jede Produktiveinheit kann in einem Zeitraum nur eine begrenzte Zahl von Verrichtungen ausführen. Darüber hinaus ist in der Regel nur eine beschränkte Anzahl funktionsgleicher Produktiveinheiten einsetzbar. Übersteigt die Zahl durchzuführender Verrichtungen die in einem Zeitraum verfügbare quantitative Kapazität, so muß die Bearbeitung eines Teils der Produkte auf einen anderen Zeitraum verschoben werden. Die begrenzte Kapazität führt zu einer zeitlichen Verlagerung von Arbeitsgängen. Für einzelne Produkte ergeben sich Warte- oder Lagerzeiten, weil andere Produkte vor ihnen gefertigt werden. Also besteht eine Abhängigkeit zwischen den Fertigungsterminen verschiedener Produkte. Die Gangfolge in den Produktiveinheiten wird zu einer Bestimmungsgröße für die Zeitpunkte des Gütereinsatzes und der Güterausbringung.

Bei mehrstufigen Stückprozessen müssen zur Herstellung eines Endprodukts mehrere Arbeitsgänge nacheinander durchgeführt werden. Dabei kann ein Arbeitsgang erst begonnen werden, wenn alle aus technologischen Gründen vor ihm liegenden Arbeitsgänge desselben Stückprozesses abgeschlossen sind³. Maßgebend für den Produktionsablauf ist daher auch die Operationenfolge je Stückprozeß. Die zeitliche Verknüpfung zwischen den zu einem Stückprozeß gehörenden Arbeitsgängen ist um so strenger, je niedriger die Lagerbestände der einzusetzenden Zwischenprodukte sind. Serien- und Sortenprodukte werden in Losen gefertigt. Je größer ein Los ist, desto länger muß die nächste Produktart auf ihre Bearbeitung durch dieselbe Produktiveinheit warten. Werden die Produkte losweise zum nächsten Arbeitsgang weitergegeben, so ist auch die Verweilzeit einer Produktiveinheit in einem Arbeitsgang von der Losgröße abhängig. Ferner sind die Losgrößen bestimmd für die Anzahl der Umrüstungen und damit für den Anteil der Umrüstzeit an der gesamten Einsatzzeit einer Produktiveinheit. Die Losgrößen bilden somit neben den Gang- und den Operationenfolgen eine wichtige Bestimmungsgröße für den zeitlichen Vollzug der Produktion.

² Frisch [Dynamic Economics] 171 f.; Schneider, E. [Wirtschaftstheorie] 272; Ott [Wirtschaftstheorie] 20 ff.

³ Jacob nennt die entsprechenden statischen Bedingungen für die mengenmäßige Verknüpfung aufeinanderfolgender Arbeitsgänge eines Stückprozesses „Mengenkontinuitätsbedingungen“. Jacob [Produktionsplanung] 246; Jacob [Entwicklungen] 38.

In einem dynamischen Ansatz lassen sich auch Veränderungen der qualitativen Eigenschaften von Potentialgütern und Veränderungen des Potentialgüterbestands erfassen. Die Schwierigkeit einer Verrichtung für eine Arbeitskraft hängt von deren Übungsgrad ab⁴. Durch die wiederholte Ausführung einer Verrichtung kann ein Lernprozeß wirksam werden. Der ‚Übungsgewinn‘ drückt sich darin aus, daß die Arbeitsgeschwindigkeit und damit die Arbeitsproduktivität bis zu einem gewissen Grad gesteigert sowie die Ausschußquote vermindert werden⁵. Sein Ausmaß hängt vor allem von der Geübtheit des Mitarbeiters vor der ersten Ausführung der Verrichtung, der Anzahl durchgeführter gleichartiger Verrichtungen und der Motivationsstruktur des Mitarbeiters⁶ ab. Der Geübstheitsgrad zu Beginn einer Tätigkeit wird bestimmt durch die Art von Verrichtungen, die der Mitarbeiter in vorhergehenden Teilprozessen ausgeführt hat und die dabei eingetretenen Lern- und Verlerneffekte⁷. Also besteht bei der Berücksichtigung von Lernprozessen eine Verknüpfung zwischen Verrichtungen, die ein Subjekt zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchführt.

Maschinelle Anlagen werden durch den Einsatz im Produktionsprozeß in der Regel abgenutzt⁸. Dies zeigt sich in abnehmender Produktionsgeschwindigkeit und -genauigkeit, höherem Ausschuß oder dem Ausfall einzelner Teile der Anlage. Als wichtigste Bestimmungsgrößen für die Abnutzung sind neben der Art der Anlage sowie zufälligen Ereignissen ihr Alter, die Art ihrer bisherigen Nutzung und die bisher durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen anzusehen. Demnach liegt eine Beziehung zwischen der Leistungsfähigkeit einer maschinellen Anlage zu einem bestimmten Zeitpunkt und zeitlich vorgelagerten Tatbeständen vor.

Arbeitskräfte und Anlagen stehen der Unternehmung im Normalfall während eines längeren Zeitraums zur Verfügung. Deshalb hängt der Bestand an Arbeitskräften bzw. Anlagen zu einem Zeitpunkt oder in einer Periode auch von den Entscheidungen vorhergehender Perioden über die Einstellung sowie Entlassung von Arbeitskräften bzw. die Anschaffung sowie den Verkauf von Anlagen ab.

Der technische Fortschritt⁹ wird durch die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit innerhalb der Unternehmung, in den sie beliefernden Unternehmun-

⁴ Vgl. zur Lerntheorie insb. Baetge [Lernprozesse] 2496 ff.; Baur [Wege] 23 ff.; Coenenberg [Lernvorgänge] 111 ff.; Coenenberg/Frese [Lerntheorie] 1031 ff.; Ihde [Lernprozesse] 451 ff.; Kappler [Systementwicklung] 127 ff.; Keachie/Fontana [Effects] B 102 ff.; Schneider, D. [Lernkurven] 501 ff.; Schuster [Fertigung] 19 ff.; Zierul [Arbeit] 49 ff. und 196 ff.

⁵ Vgl. Baur [Wege] 219 ff.; Schuster [Fertigung] 112 ff.; Zierul [Arbeit] 53 ff.

⁶ Baetge [Lernprozesse] 2501; Baetge [Kostentheorie] 523 ff.; Baur [Wege] 129 ff.; Bush/Mosteller [Learning] 313 ff.

⁷ Zierul [Arbeit] 240 ff.

⁸ Vgl. zum folgenden Bruhn [Potentialfaktoren] 100 ff.; Luhmer [Produktionsprozeß] 102 ff.; Ordelheide [Instandhaltungsplanung] 24 ff.; Pressmar [Leistungsanalyse] 131 ff.; Scheer [Instandhaltungspolitik] 25 ff.; Steffen [Elementarfaktoren] 72 ff.

gen und in sonstigen externen Institutionen¹⁰ bewirkt. Er führt zu einer Steigerung der qualitativen und quantitativen Leistungsfähigkeit maschineller Anlagen. Ferner werden verbesserte Einsatz- und Ausbringungsgüter, neue Technologien sowie leistungsfähigere Verfahren der Planung, Steuerung und Kontrolle des Produktionsprozesses geschaffen. Der Prozeß zur Entwicklung neuer Güter und Verfahren benötigt in der Regel längere Zeit. Seine Ergebnisse sind nicht nur von den gegenwärtigen, sondern auch von den in früheren Perioden unternommenen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten sowie den in ihnen gewonnenen Erkenntnissen abhängig.

Die Nachfrage nach den Produkten einer Unternehmung bildet eine grundlegende Bestimmungsgröße für die Strukturierung des Produktionsprozesses. Deshalb besteht ein weiterer wichtiger Grund für die Entwicklung eines dynamischen Input-Output-Ansatzes der betriebswirtschaftlichen Produktionsfunktion in der Notwendigkeit, den Einfluß von Nachfrageänderungen auf den Produktionsprozeß zu erfassen¹¹.

b) Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Zeitdimension

Eine präzise Beschreibung des Produktionsprozesses erfordert, daß die ihn konstituierenden Güter in jedem Zeitpunkt des Produktionsablaufs artmäßig, mengenmäßig sowie in ihrer räumlichen Anordnung gekennzeichnet werden. Die umfassende Abbildung eines jeden Gutes erstreckt sich demnach auf vier Dimensionen: Güterart bzw. -qualität, Menge, zeitliche und räumliche Anordnung. In dieser Untersuchung wird auf eine explizite Berücksichtigung der Raumdimension verzichtet, weil wichtige Auswirkungen der räumlichen Anordnung der Güter indirekt erfaßt werden können¹.

Das statische betriebswirtschaftliche Input-Output-Modell B.2a

$$\begin{aligned} r_1 &= r_{11} + r_{12} + \dots + r_{1J} + x_1 + \Delta l_1 \\ &\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ r_J &= r_{J1} + r_{J2} + \dots + r_{JJ} + x_J + \Delta l_J \end{aligned}$$

bildet Gütermengen ab. Diese werden einerseits entsprechend den Zeilen des Gleichungssystems B.2a nach Güterarten (i bzw. $j = 1, \dots, J$) untergliedert. Andererseits unterscheidet man entsprechend den Spalten des Gleichungssystems B.2a nach ihrer Verwendungsart Ausbringungs- (r_{ij}), (Wieder-)Einsatz- (r_{ii}), Absatz- (x_i) und Lagerbestandsänderungs- (Δl_i) Mengen. Der Übergang auf einen dynamischen Ansatz ist durchführbar, indem man die Gütermengen zu-

⁹ Zur Kennzeichnung des technischen Fortschritts vgl. Ott [Technischer Fortschritt] 302 ff.; Krelle [Produktionstheorie] 117 ff.

¹⁰ Hirsch [Technological Progress] 36 ff.; Stöppeler [Produktionstheorie] 63.

¹¹ Vgl. Adam [Interpretationen] 151.

¹ Zur näheren Begründung vgl. Seite 76.

sätzlich zeitlich untergliedert. Jede nach Güterart und Verwendungsart gekennzeichnete Gütermenge wird einem bestimmten Zeitpunkt oder Zeitraum zugeordnet. Dabei kann der Parameter Zeit entweder kontinuierlich² oder diskret³ variiert werden. Da die Arbeitsgänge im Produktionsprozeß vielfach nicht kontinuierlich nacheinander vollzogen werden und Veränderungen im Potentialgüterbestand diskontinuierlich erfolgen, wird eine Einteilung des Betrachtungszeitraums in diskrete Zeitintervalle $t = 1, \dots, T$ gewählt. An die Stelle der Variablen r_i , r_{ij} und x_i treten die zeitlich bestimmten Variablen r_i^t , r_{ij}^t und x_i^t . Die Lagerbestandsänderung Δl_i wird durch die Differenz zwischen dem Lagerendbestand l_i^t und dem Lageranfangsbestand eines Intervalls ersetzt. Der Lageranfangsbestand entspricht dem Lagerendbestand l_i^{t-1} des vorhergehenden Intervalls. Dann erhält man anstelle von Gleichungssystem B.2a ein System aus Gleichungen der Art B.18:

$$r_i^t = r_{i1}^t + r_{i2}^t + \dots + r_{iJ}^t + x_i^t + l_i^t - l_i^{t-1} \quad (\text{B.18})$$

Jede Gleichung dieses Systems gibt an, welche Menge der i-ten Güterart im Intervall t hervorgebracht (r_i^t), zur Herstellung einer anderen Güterart eingesetzt (r_{ij}^t) oder am Markt abgesetzt (x_i^t) wird sowie am Ende von t (l_i^t) bzw. zu Beginn von t (l_i^{t-1}) gelagert ist.

Die Variablen r_i^t , x_i^t und l_i^t der Güterarten i bzw. $j = 1, \dots, J$ lassen sich bei intervallweiser Anordnung der Gleichungen B.18 zu den Vektoren⁴ $r^t = (r_1^t, \dots, r_J^t)$, $x^t = (x_1^t, \dots, x_J^t)$ und $l^t = (l_1^t, \dots, l_J^t)$ zusammenfassen. Die Gleichungen B.18 können aber auch nach Produktarten angeordnet werden, so daß die Gleichungen einer Produktart i für alle Intervalle $t = 1, \dots, T$ unmittelbar nacheinander geschrieben werden. Dann lassen sich die Vektoren $r'_i = (r_{i1}^1, \dots, r_{i1}^T)$, $x'_i = (x_{i1}^1, \dots, x_{i1}^T)$ und $l'_i = (l_{i1}^1, \dots, l_{i1}^T)$ bilden. Geht man davon aus, daß die Einsatzmengen r_{ij}^t eindeutig von den Absatz- und den Lagermengen abhängig sind und die originalen Einsatzmengen als Ausbringungsmengen r_i^t der ersten Güterarten $i = 1, \dots, m$ definiert sind, so besitzt das dynamische Input-Output-Modell bei intervallweiser Anordnung der Gleichungen B.18 allgemein die formale Struktur von B.19:

$$\begin{bmatrix} r^1 \\ \vdots \\ r^T \end{bmatrix} = f \begin{bmatrix} x^1 \\ \vdots \\ x^T \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} l^1 \\ \vdots \\ l^T \end{bmatrix} \quad (\text{B.19})$$

² Vgl. Leontief [Dynamic analysis] 55 ff.

³ Vgl. Jaksch [Typisierung] 407; Schumann [Input-Output-Analyse] 166 ff.; Wurtele [Note] 672 ff.

Zur Gegenüberstellung der Argumente für eine diskrete oder kontinuierliche Zeitführung vgl. Langen [Dispositionen] 12; Luhmer [Produktionsprozesse] 57 ff.; Stöppler [Produktionstheorie] 24 f.

⁴ Mit x^t , r^t und l^t werden die transponierten Vektoren zu x^t , r^t und l^t bezeichnet.

Bei produktartenweiser Anordnung ergibt sich B.20:

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ \vdots \\ r_J \end{bmatrix} = f^* \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_J \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \ell_1 \\ \vdots \\ \ell_J \end{bmatrix} \quad (\text{B.20})$$

Die dynamische Produktionsfunktion f bzw. f^* gibt die Beziehungen zwischen den nach Güterart, Verwendungsart und Zeitintervall untergliederten Gütermengen wieder. Durch die Berücksichtigung der Zeitdimension wird der Betrachtungsgegenstand gegenüber der statischen Produktionstheorie erweitert. Es werden nicht nur die Beziehungen zwischen den Gütereinsatz- und -ausbringungsmengen, sondern auch die Beziehungen zwischen den Zeitpunkten des Einsatzes und der Ausbringung abgebildet.

In dem in B.18 bis B.20 skizzierten Ansatz wird mit Produktionsmengen gerechnet, die nach den Dimensionen Güterart, Verwendungsart und Zeit untergliedert sind. Es ist aber auch möglich, die zeitliche Struktur des Produktionsprozesses durch ein Rechnen mit Zeitgrößen zu erfassen. Diese Produktionszeiten sind ebenfalls nach mehreren Komponenten zu untergliedern. Nach der Art der Tätigkeit, die während einer Zeit durchgeführt wird, kann man Fertigungs-, Rüst-, Warte- und Leerzeiten unterscheiden. Ferner kann jede dieser Zeitgrößen auf einen Auftrag und auf eine Produktiveinheit bezogen werden⁵. Die Beziehungen zwischen den nach Tätigkeitsarten, Aufträgen und Produktiveinheiten untergliederten Zeitgrößen sind auch durch ein System von Gleichungen abzubilden. Damit gelangt man zu einem zweiten Ansatz der Erfassung zeitlicher Beziehungen im Produktionsprozeß.

Die Fertigungszeit eines Auftrags in einer Produktiveinheit ergibt sich aus der Produktionsgeschwindigkeit und der Auftragsgröße. Die Produktmenge des Auftrags stellt somit eine wichtige Bestimmungsgröße seiner Fertigungszeit dar. Ferner können im Input-Output-Modell die Einsatzmengen an menschlicher und maschineller Arbeit durch die Zeitdauer ihres Arbeitseinsatzes gemessen werden. Diese Tatbestände machen deutlich, daß zwischen einem auf Produktionsmengen und einem auf Produktionszeiten basierenden Modell desselben Produktionsprozesses enge Verbindungen bestehen.

Dem im folgenden entwickelten betriebswirtschaftlichen dynamischen Input-Output-Ansatz liegen Gütermengen zugrunde. Er soll daher als ‚Produktionsmengenmodell‘ bezeichnet werden. Die Struktur eines ‚Produktionszeitenmodells‘ wird in Abschnitt C.I.1 gekennzeichnet und mit der Struktur von Produktionsmengenmodellen verglichen.

⁵ Es handelt sich dann um die Fertigungs- oder Wartezeit eines Auftrags in bzw. vor einer Produktiveinheit sowie die Rüst- oder Leerzeit einer Produktiveinheit vor Bearbeitung eines Auftrags.

c) Struktur der dynamischen Produktionsfunktion

aa) Grundgleichungen des dynamischen Input-Output-Ansatzes bei verschiedenen Typen verweilzeitabhängiger Transformationsfunktionen

Das dynamische Input-Output-Modell der Unternehmung bezieht sich auf einen bestimmten Betrachtungs- oder Planungszeitraum. Dessen Dauer ist von der angestrebten Genauigkeit, der Prognostizierbarkeit wichtiger Bestimmungsgrößen (z. B. des Absatzes) und den in der Realität üblichen Planungshorizonten abhängig. Der gesamte Betrachtungszeitraum wird in aufeinanderfolgende diskrete Zeitintervalle eingeteilt. Die Anzahl der Zeitintervalle ist vorzugeben. Aus Vereinfachungsgründen wird die Dauer der Intervalle vorerst als gegeben und gleich lang unterstellt⁶.

Der Ansatz ist darauf ausgerichtet, die Beziehungen zwischen den Ausprägungen der Variablen in unterschiedlichen Intervallen abzubilden. Innerhalb eines Intervalls vollziehen sich Güterbewegungen in Form von Gütereinsatz, Gütertransformation und Güterausbringung. Die Ausprägung dieser Größen innerhalb eines Intervalls wird durch die gesamte Einsatz- bzw. Ausbringungsmenge des Intervalls oder eine als konstant unterstellte Fertigungs- bzw. Absatzgeschwindigkeit erfasst. Die Zustandsgrößen werden somit *innerhalb* eines Intervalls als konstant betrachtet⁷. Die Höhe der Lagerbestände, die sich in der Realität laufend ändern kann, wird nur an den Intervalleinschnitten gemessen. Deshalb hängt der Präzisionsgrad des Modells davon ab, wie kurz die Intervalldauern gewählt werden.

In der Regel können nicht alle während eines Intervalls benötigten Güter in demselben Intervall von außerhalb der Unternehmung bezogen bzw. in der Unternehmung hergestellt werden. Daher ist die Produktion eines Intervalls davon abhängig, welche Güter aufgrund von Handlungen früherer Intervalle als Anfangsbestände verfügbar sind. So wird aus dem vorhergehenden Intervall ein Bestand an Arbeitskräften und maschinellen Anlagen übernommen, der meist nur in begrenztem Umfang verändert werden kann. Weitere Handlungen vorhergehender Intervalle schlagen sich in den Beständen an Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, an Zwischen- und Endprodukten sowie an Aufträgen nieder. Aus den Anfangsbeständen und den im Intervall durchgeführten Teilprozessen ergibt sich die Höhe der Güterbestände am Intervallende. Diese bilden eine wichtige Bestimmungsgröße für den Vollzug des Produktionsprozesses in den nachfolgenden Intervallen. Die Güterbestände an den Intervalleinschnitten verknüpfen die Prozesse aufeinanderfolgender Intervalle. In dynamischen Produktionsmodellen besitzt somit die *Lagerbestandsentwicklung* eine besondere Bedeutung⁸.

⁶ Vgl. Dinkelbach [Produktionsplanung] 58 f.

⁷ Vgl. Pressmar [Einsatzmöglichkeiten] 227.

⁸ Vgl. Elsner [Produktionstheorie] 97 ff.; Krippendorff/Auer [Bedeutung] 102.

Für alle lagerfähigen Güter gilt die Grundgleichung B.18

$$r_i^t = r_{i1}^t + r_{i2}^t + \dots + r_{ij}^t + x_i^t + l_i^t - l_i^{t-1}$$

Lagerfähig sind in erster Linie materielle Ge- und Verbrauchsgüter sowie (immaterielle) Informationen. Auftragsbestände sind Informationen über Kundenbestellungen. Sie können als Lagerbestände von Absatzprozessen interpretiert werden. Bei nicht lagerfähigen Gütern sind die Lagerbestandsvariablen l_i^t und l_i^{t-1} in B.18 stets gleich Null. Zu ihnen gehören insbesondere menschliche und maschinelle Arbeit.

Maßgebend für die zeitliche Struktur des Produktionsprozesses ist die Zeitdauer der einzelnen Teilprozesse. Da die Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung eines Teilprozesses in den Transformationsfunktionen abgebildet werden, müssen in ihnen auch die Beziehungen zwischen Einsatz- und Ausbringungszeitpunkt wiedergegeben werden. *Dynamische Transformationsfunktionen* der Art B.21

$$r_{ij}^t = f_{ij}^\theta(\dots) \cdot r_j^{t+\theta} \quad (\text{B.21})$$

geben an, wie die Einsatzmenge r_{ij} mit der Ausbringungsmenge r_j des j-ten Teilprozesses zeitlich verknüpft ist. Durch diese Transformationsfunktionen kann eine zweite Art von Verknüpfung zwischen den Variablen verschiedener Intervalle neben der Verknüpfung über die Lagerbestände hergestellt werden.

Die Zeitdauer θ zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung in einem Teilprozeß wird bestimmt durch die Fertigungszeit je Stück und die Art der Weitergabe bearbeiteter Produkte. Die Stückzeit entspricht dem Kehrwert der Produktionsgeschwindigkeit, mit welcher eine Produktiveinheit eine Produktart fertigt. Die Weitergabe eines bearbeiteten Produkts zum nächsten Arbeitsgang erfolgt bei „offener“ Produktion unmittelbar nach seiner Fertigstellung. Bei „geschlossener“ Produktion⁹ wird ein Fertigungslos insgesamt weitergegeben, nachdem der Arbeitsgang an allen zu ihm gehörenden Produkteinheiten abgeschlossen ist. Ferner können Teilmengen eines Loses weitergegeben werden. Eine exakte Abbildung von Art und Zeitpunkt der Weitergabe erscheint nur möglich, wenn man spezielle Transportprozesse in das Input-Output-Modell einführt. Der Index θ in B.21 gibt die Verweilzeit¹⁰ der Objektmenge r_j während ihrer Bearbeitung im Arbeitsgang j an. Dynamische Transformations-

⁹ Zu dieser Unterscheidung vgl. Dürr [Auflagen] 6; Schlüter [Losgröße] 195 ff.; Adam [Produktionsplanung] 98 ff.

¹⁰ Zum Begriff Verweilzeit und zur Entwicklung dynamischer Prognosefunktionen auf der Basis von Verweilzeitverteilungen vgl. Langen [Prognose] 293 ff.; Langen [Zahlungsströme] 261 ff.; Langen [Dispositionssrechnung] 233 ff.; Langen [Betriebsprozeß] 867 ff.; Langen u. a. [Unternehmensplanung] 18 ff.; Edin [Wirkungsweise] 743 ff.; Edin/Schmitt [Verweilzeitverteilungen] 484 ff.; Edin [Übergangsfunktionen] 572 ff.; Edin [Analyse] 71 ff.; Kockelkorn [Verweilzeitverteilungen] 83 ff.; Schneider, W. [Planung] 53 ff.

funktionen entsprechend B.21 eignen sich lediglich für eine näherungsweise Erfassung der Produktionsdauern, weil in ihnen die Verweilzeit Θ je Arbeitsgang j unabhängig von der jeweiligen Objektmenge r_j vorzugeben ist. Daher kann die Verweilzeit nur dann je Produktart und Arbeitsgang als konstanter Durchschnittswert angegeben werden, wenn die Produkte nicht einzeln weitergegeben werden und die Ausbringungsmenge r_j^t je Intervall keinen großen Schwankungen unterliegt.

In vereinfachter Abbildung der Realität werden zur Kennzeichnung der Grundstruktur des Ansatzes drei Modelltypen mit unterschiedlichen Transformationsfunktionen entwickelt¹¹. *Typ I* wird als näherungsweise Abbildung der offenen Produktion angesehen. Ist die Intervalldauer gegenüber der Fertigungszeit je Stück verhältnismäßig groß, so erscheint es zulässig, die zeitliche Differenz zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung zu vernachlässigen. Die in einem Intervall erzeugten Zwischenprodukte können während desselben Intervalls in dem nächsten Arbeitsgang oder in mehreren nachfolgenden Arbeitsgängen wiedereingesetzt werden. Die Verweilzeit in den Transformationsfunktionen B.21 wird (approximativ) als Null angenommen. Setzt man die sich ergebenden statischen Transformationsfunktionen B.22

$$r_{ij}^t = f_{ij}^0(\dots) \cdot r_j^t \quad (B.22)$$

in die Gütermengengleichungen B.18 ein, so erhält man die Grundgleichung des dynamischen Input-Output-Ansatzes bei *offener Produktion*¹² B.23:

$$r_i^t = \sum_j f_{ij}^0(\dots) \cdot r_j^t + x_i^t + l_i^t - l_i^{t-1} \quad (B.23)$$

Als Näherungslösung für den Fall einer Weitergabe von Teillosen kann eine Verweilzeit Θ von einem Intervall für alle Produktarten und Arbeitsgänge angesehen werden¹³. Dann lauten die Transformationsfunktionen des *Typs II*:

$$r_{ij}^t = f_{ij}^1(\dots) \cdot r_j^{t+1} \quad (B.24)$$

Bei ihnen wird davon ausgegangen, daß die gesamte Ausbringungsmenge r_j am Ende des Intervalls $t+1$ fertiggestellt ist. Die zu ihrer Erzeugung einzusetzenden Güter müssen am Ende des vorhergehenden Intervalls t bereitgestellt werden. Durch die Einsetzung der Transformationsfunktionen B.24 in die Gütermengengleichungen B.18 ergeben sich die Grundgleichungen des dynamischen Input-Output-Ansatzes bei *intervallweiser* Weitergabe B.25:

¹¹ Vgl. auch den Ansatz der terminierten Teilebedarfsermittlung. Müller-Merbach [Berechnung] 115 ff.

¹² Diese Grundgleichung verwendet Pressmar [Einsatzmöglichkeiten] 231; Pressmar [Modelle] 464 ff.

¹³ Diese Vereinfachung wird auch vorgenommen bei Dinkelbach [Produktionsplanung] 60; Adam [Produktionsplanung] 160 ff.

$$r_i^t = \sum_j f_{ij}^1 (\dots) \cdot r_j^{t+1} + x_i^t + l_i^t - l_i^{t-1} \quad (B.25)$$

Eine nähere Analyse der Gleichungen B.25 zeigt, daß die Lagerbestandsvariablen l_i^t (bzw. l_i^{t-1}) nur die Güterbestände bezeichnen, über die an den Intervalleinschnitten (d. h. am Ende von t und Beginn von $t+1$) noch nicht disponiert worden ist¹⁴. Der Lagerbestand l_i^t erstreckt sich lediglich auf die Gütereinheiten, die nicht für eine Verwendung im nächsten Intervall bereitgestellt sind und sich daher „am Lager“ befinden. Die gesamte Gütermenge \bar{l}_i^t , die am Ende des Intervalls t vorhanden ist, setzt sich bei einer Verweilzeit von $\Theta = 1$ entsprechend B.26 aus der am Lager befindlichen Gütermenge l_i^t und der zum Einsatz bereitgestellten Gütermenge zusammen¹⁵:

$$\bar{l}_i^t = l_i^t + \sum_j f_{ij}^1 (\dots) \cdot r_j^{t+1} \quad (B.26)$$

Schließlich kann in einem *Modelltyp III* davon ausgegangen werden, daß in verschiedenen Teilprozessen und für verschiedene Einsatzgüter unterschiedlich lange Verweilzeiten auftreten. Beträgt die kürzeste Verweilzeit für den Fall niedriger Stückzeiten und stückweiser Produktweitergabe null Intervalle und die längste Verweilzeit ϕ Intervalle, so sind die Transformationsfunktionen B.27

$$r_{ij}^t = \sum_{\kappa=0}^{\phi} f_{ij}^{\kappa} (\dots) \cdot r_j^{t+\kappa} \quad (B.27)$$

in die Gütermengengleichungen B.18 einzusetzen. Man erhält dann die Grundgleichungen B.28 des dynamischen Input-Output-Ansatzes von Modell III:

$$r_i^t = \sum_{\kappa=0}^{\phi} \sum_{j=1}^J f_{ij}^{\kappa} (\dots) \cdot r_j^{t+\kappa} + x_i^t + l_i^t - l_i^{t-1} \quad (B.28)$$

Auch in diesem Modell wird angenommen, daß Einsatzgüter jeweils Θ Intervalle vor Fertigstellung der mit ihnen erzeugten Ausbringungsmenge eingesetzt werden. Die Lagerbestandsvariablen l_i^t geben daher nur die nicht disponierten Güterbestände an.

Aus ökonomischen Gründen können negative Ausbringungsmengen, Absatzmengen und Lagerbestände nicht zugelassen werden. Deshalb gelten bei allen Modelltypen für die in den Gleichungen B.23, B.25 und B.28 enthaltenen Variablen die Nichtnegativitätsbedingungen B.29:

¹⁴ Dem entspricht die Vorstellung, daß sich die Einsatzgüter jeweils am Ende eines Intervalls schon an der Produktiveinheit befinden, die im nächsten Intervall den nachfolgenden Arbeitsgang vollzieht.

¹⁵ Bei offener Produktions ist $\bar{l}_i^t = l_i^t$.

$$\begin{aligned} r_i^t &\geq 0 \\ x_i^t &\geq 0 \\ l_i^t &\geq 0 \end{aligned} \quad (B.29)$$

Ferner kann die Ausbringungsmenge eines Intervalls die Kapazität der sie erzeugenden Produktiveinheit nicht überschreiten. Wenn man vorerst vereinfachend voraussetzt, daß jede Produktiveinheit m genau eine Güterart i erstellt und ihre Intervallkapazität mit Q_i bezeichnet, müssen zusätzlich die Kapazitätsbedingungen B.30

$$r_i^t \leq Q_i \quad (B.30)$$

beachtet werden.

bb) Herleitung dynamischer Produktionsfunktionen bei intervallweiser Anordnung der Gütermengengleichungen

Faßt man die Gütermengengleichungen B.18 aller Güterarten i bzw. $j = 1, \dots, J$ eines Produktionsprozesses intervallweise zusammen, so erhält man für jedes Intervall t ein Gleichungssystem der Art B.31:

$$\begin{bmatrix} r_1^t \\ \vdots \\ r_J^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}^t & \dots & r_{1J}^t \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{J1}^t & \dots & r_{JJ}^t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1^t \\ \vdots \\ x_J^t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1^t \\ \vdots \\ l_J^t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_1^{t-1} \\ \vdots \\ l_J^{t-1} \end{bmatrix} \quad (B.31)$$

Unter Verwendung der Transformationsfunktionen B.22 ergibt sich beim *Modelltyp I* der *offenen* Produktion für jedes Intervall t ein System von Gleichungen entsprechend B.32a:

$$\begin{bmatrix} r_1^t \\ \vdots \\ r_J^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11}^0(\dots) & \dots & f_{1J}^0(\dots) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{J1}^0(\dots) & \dots & f_{JJ}^0(\dots) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_1^t \\ \vdots \\ r_J^t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1^t \\ \vdots \\ x_J^t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1^t \\ \vdots \\ l_J^t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_1^{t-1} \\ \vdots \\ l_J^{t-1} \end{bmatrix} \quad (B.32a)$$

Die direkten funktionalen Beziehungen $f_{ij}(\dots)$ zwischen Einsatz- und Ausbringungsmengen können in einer *Direktverbrauchsmatrix* F_0 zusammengefaßt werden. Ihr tiefgestellter Index 0 drückt aus, daß die Verweilzeit Θ der in F_0 enthaltenen Transformationsfunktionen weniger als eine Intervalldauer beträgt und näherungsweise mit $\Theta = 0$ angesetzt wird¹⁶. Das Gleichungssystem B.32a lautet dann in Matrixschreibweise:

$$r^t = F_O \cdot r^t + x^t + \ell^t - \ell^{t-1} \quad (\text{B.32b})$$

Der gesamte Betrachtungszeitraum ist in die Intervalle $t = 1, \dots, T$ unterteilt. Daher sind T Gleichungssysteme der Art B.32b aufzustellen. Man erhält das System von Gleichungssystemen B.33:

$$\begin{bmatrix} r^1 \\ r^2 \\ r^3 \\ \vdots \\ r^{T-1} \\ r^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_O \cdot r^1 \\ F_O \cdot r^2 \\ F_O \cdot r^3 \\ \vdots \\ F_O \cdot r^{T-1} \\ F_O \cdot r^T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \\ \vdots \\ x^{T-1} \\ x^T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ell^1 \\ \ell^2 \\ \ell^3 \\ \vdots \\ \ell^{T-1} \\ \ell^T \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \ell^0 \\ \ell^1 \\ \ell^2 \\ \vdots \\ \ell^{T-2} \\ \ell^{T-1} \end{bmatrix} \quad (\text{B.33})$$

Bei Existenz der Kehrmatrix von $(E - F_O)$ lässt sich das Gleichungssystem B.32 eines jeden Intervalls nach dem Ausbringungsvektor r^t auflösen. Für den gesamten Betrachtungszeitraum ergibt sich dabei für das *Modell I* ein System von Gleichungssystemen mit folgender Struktur:

$$\begin{bmatrix} r^1 \\ r^2 \\ r^3 \\ \vdots \\ r^{T-1} \\ r^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (E - F_O)^{-1} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & (E - F_O)^{-1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (E - F_O)^{-1} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & (E - F_O)^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & (E - F_O)^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \\ \vdots \\ x^{T-1} \\ x^T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ell^1 \\ \ell^2 \\ \ell^3 \\ \vdots \\ \ell^{T-1} \\ \ell^T \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \ell^0 \\ \ell^1 \\ \ell^2 \\ \vdots \\ \ell^{T-2} \\ \ell^{T-1} \end{bmatrix} \quad (\text{B.34})$$

beziehungsweise

$$r^t = (E - F_O)^{-1} \cdot (x^t + \ell^t - \ell^{t-1}) \quad t=1, \dots, T$$

¹⁶ Bei den verweilzeitabhängigen Direktverbrauchsmatrizen F_O wird der die Verweilzeit kennzeichnende Index Θ im Unterschied zur Definition der Transformationsfunktionen B.21 tiefgestellt, um mit hochgestellten Indices 2, 3 ... Potenzen der Direktverbrauchsmatrizen F_O bezeichnen zu können (vgl. Seite 89).

Dieses Gleichungssystem B.34 kann als *dynamische Produktionsfunktion bei statischen Transformationsfunktionen* bezeichnet werden.

In Modelltyp I wird die Verbindung zwischen aufeinanderfolgenden Intervallen nur über die Lagerbestände hergestellt. Eine zusätzliche Beziehung zwischen den Variablen verschiedener Intervalle besteht in *Modelltyp II* durch die Annahme einer Fertigungsdauer von einem Intervall in sämtlichen Transformationsfunktionen. Aus den funktionalen Beziehungen $f_{ij}^l(\dots)$ zwischen Einsatz- und Ausbringungsmengen in den Transformationsfunktionen B.24 lässt sich die Direktverbrauchsmatrix F_1 bilden. Dann gilt bei diesem Typ für jedes Intervall ein Gleichungssystem der Art B.35¹⁷.

$$r^t = F_1 \cdot r^{t+1} + x^t + \ell^t - \ell^{t-1} \quad (\text{B.35})$$

Man kann davon ausgehen, daß im Planungszeitpunkt noch keine Dispositionen für das erste Intervall getroffen sind. Deshalb muß ein Gleichungssystem aufgestellt werden, das die Beziehungen zwischen den zu Beginn des Betrachtungszeitraums *insgesamt* vorhandenen Güterbeständen \bar{l}^0 , den für den Einsatz zu Beginn des ersten Intervalls bereitzustellenden Gütern $F_1 \cdot r^1$ und dem nicht disponierten Lageranfangsbestand ℓ^0 des ersten Intervalls wiedergibt. Es lautet:

$$\bar{l}^0 = F_1 \cdot r^1 + \ell^0 \quad (\text{B.36})$$

Aus dem Gleichungssystem B.36 und den Gleichungssystemen für $t=1, \dots, T$ der Art B.35 erhält man den Input-Output-Ansatz des *Modells II*:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ r^1 \\ r^2 \\ \vdots \\ \vdots \\ r^{T-1} \\ r^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \cdot r^1 \\ F_1 \cdot r^2 \\ F_1 \cdot r^3 \\ \vdots \\ \vdots \\ F_1 \cdot r^T \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ x^1 \\ x^2 \\ \vdots \\ \vdots \\ x^{T-1} \\ x^T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ell^0 \\ \ell^1 \\ \ell^2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \ell^{T-1} \\ \ell^T \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{l}^0 \\ \bar{l}^1 \\ \bar{l}^2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \bar{l}^{T-2} \\ \bar{l}^{T-1} \end{bmatrix} \quad (\text{B.37})$$

In den zu Beginn des Betrachtungszeitraums *insgesamt* vorhandenen Güterbeständen \bar{l}^0 schlagen sich die Auswirkungen der vor dem Betrachtungszeitraum liegenden Entscheidungen und Vollzüge¹⁸ nieder. Ferner erstreckt sich die Analyse nur bis zu den Variablen des letzten Intervalls T. Entscheidungen und Vollzüge jenseits des Betrachtungszeitraums werden nicht explizit berücksichtigt. Sie müssen global in den (vorhandenen *und* disponierbaren) Güterbe-

¹⁷ Die Lagerbestandsvariablen ℓ^t beziehen sich hier nur auf die nicht disponierten Güterbestände. Vgl. Seite 85.

¹⁸ Zu diesem Begriff vgl. Langen [Dispositionen] 13 ff. und 21 ff.

ständen ℓ^T am Ende des Betrachtungszeitraums erfaßt werden. Die Produktionsgleichungen des letzten Intervalls in B.37 enthalten keine bereitzustellenden Einsatzgüter.

Zur Herleitung der Produktionsfunktion ist das Gleichungssystem B.37 nach den Ausbringungsvektoren r^t aufzulösen. Hierzu setzt man die Gleichung B.38a des letzten Intervalls T

$$r^T = x^T + \ell^T - \ell^{T-1} \quad (\text{B.38a})$$

in die Gleichung des vorletzten Intervalls $T-1$ ein und erhält B.38b:

$$r^{T-1} = F_1 \cdot (x^T + \ell^T - \ell^{T-1}) + (x^{T-1} + \ell^{T-1} - \ell^{T-2}) \quad (\text{B.38b})$$

Für die Ausbringungsmengen r^{T-2} des Intervalls $T-2$ ergibt sich¹⁹ B.38c:

$$\begin{aligned} r^{T-2} &= F_1^2 \cdot (x^T + \ell^T - \ell^{T-1}) + F_1 \cdot (x^{T-1} + \ell^{T-1} - \ell^{T-2}) \\ &\quad + (x^{T-2} + \ell^{T-2} - \ell^{T-3}) \end{aligned} \quad (\text{B.38c})$$

Auf entsprechende Weise läßt sich das gesamte Gleichungssystem bis zum Beginn des Betrachtungszeitraums rückwärtsschreitend entwickeln. Man erhält das Gleichungssystem²⁰ B.39a:

$$\left[\begin{array}{c} o \\ r^1 \\ r^2 \\ \vdots \\ \vdots \\ r^{T-1} \\ r^T \end{array} \right] = \left[\begin{array}{cccccc} E & F_1 & F_1^2 & \dots & F_1^{T-1} & F_1^T \\ 0 & E & F_1 & \dots & F_1^{T-2} & F_1^{T-1} \\ 0 & 0 & E & \dots & F_1^{T-3} & F_1^{T-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & E & F_1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & E \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{ccc} o & +\ell^o & -\bar{\ell}^o \\ x^1 & +\ell^1 & -\ell^o \\ x^2 & +\ell^2 & -\ell^1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x^{T-1} & +\ell^{T-1} & -\ell^{T-2} \\ x^T & +\ell^T & -\ell^{T-1} \end{array} \right] \quad (\text{B.39a})$$

Für jedes Intervall gilt somit die Beziehung B.40:

$$\begin{aligned} r^t &= \sum_{\kappa=0}^{T-t} F_1^\kappa \cdot [x^{t+\kappa} + \ell^{t+\kappa} - \ell^{t+\kappa-1}] \\ t &= 0, \dots, T; \quad r^0 = o; \quad F_1^0 = E; \quad \ell^{-1} = \bar{\ell}^o \end{aligned} \quad (\text{B.40})$$

¹⁹ Allgemein wird folgende Schreibweise verwandt:

$F_1^\kappa := F_1^{-1} \cdot F_1$ sowie $F_1^1 := F_1$.

²⁰ Einen entsprechenden Ansatz mit einer Verweildauer von einem Intervall, in dem jedoch keine Lagerbestände enthalten sind und keine Auflösung nach den Ausbringungsvektoren erfolgt, entwickelt Stähly [Fabrikationsplanung] 80 ff.

Durch das Gleichungssystem B.39 bzw. B.40 werden die quantitativen Beziehungen zwischen den Einsatz- und Ausbringungsmengen sämtlicher Teilprozesse, den zu Beginn des Betrachtungszeitraums vorhandenen Güterbeständen, den Lagerbeständen sowie den Absatzmengen in allen Intervallen des Betrachtungszeitraums abgebildet. Es stellt daher die *dynamische Produktionsfunktion* der Unternehmung bei *Transformationsfunktionen für Verweilzeiten von einem Intervall* dar.

In der Form B.39a gibt diese dynamische Produktionsfunktion die Abhängigkeit der Einsatz- und Ausbringungsmengen von den Absatzmengen und den Lagerbestandsänderungen²¹ wieder. Um die Abhängigkeit der Einsatz- und Ausbringungsmengen von den Lagerbeständen am Ende eines jeden Intervalls und den Absatzmengen sichtbar zu machen, kann sie nach B.39b umgeformt werden:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ z^1 \\ z^2 \\ \vdots \\ z^{T-1} \\ z^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E - F_1 & F_1 - F_2 & F_1^2 - F_3 & \dots & F_1^{T-1} - F_1^T & F_1^T \\ -E & E - F_1 & F_1 - F_2^2 & \dots & F_1^{T-2} - F_1^{T-1} & F_1^{T-1} \\ 0 & -E & E - F_1 & \dots & F_1^{T-3} - F_1^{T-2} & F_1^{T-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & E - F_1 & F_1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -E & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ell^0 \\ \ell^1 \\ \ell^2 \\ \vdots \\ \ell^{T-1} \\ \ell^T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E \\ F_1 \\ F_1^2 \dots F_{T-1}^{T-1} \\ F_1^T \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(B.39b)

Die zu Beginn des Betrachtungszeitraums insgesamt vorhandenen Lagerbestände ℓ^0 bilden die Grundlage der Planung. Aus ihnen ergibt sich zusammen mit den Kapazitäten der Produktiveinheiten, welche Höchstmengen in den ersten Intervallen produziert werden können. Sie begrenzen die Produktionsmengen über so viele Intervalle, wie der Stückprozeß mit den meisten Produktionsstufen dauert.

Andererseits sind bei der Planung die Lagerbestände ℓ^T am Ende des Betrachtungszeitraums vorzugeben. Durch eine isolierte Erfassung aller Glieder, die sich auf ℓ^T beziehen, kann die dynamische Produktionsfunktion B.39 so umgeformt werden, daß die Abhängigkeit der Einsatz- und Ausbringungsmengen aller Intervalle von den Lagerbeständen ℓ^T am Ende des Betrachtungszeitraums erkennbar wird:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ z^1 \\ z^2 \\ \vdots \\ z^{T-1} \\ z^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1^1 - \ell^1 \\ F_1^{T-1} - \ell^1 \\ F_1^{T-2} - \ell^1 \\ \vdots \\ F_1 - \ell^1 \\ \ell^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E & F_1 - E & F_1^2 - F_1 \dots F_1^{T-1} - F_1^{T-2} & F_1^T - F_1^{T-1} \\ 0 & E & F_1 - E \dots F_1^{T-2} - F_1^{T-3} & F_1^{T-1} - F_1^{T-2} \\ 0 & 0 & E \dots F_1^{T-3} - F_1^{T-4} & F_1^{T-2} - F_1^{T-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 \dots E & F_1 - E \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ell^0 \\ \ell^1 \\ \ell^2 \\ \vdots \\ \ell^{T-2} \\ \ell^{T-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E & F_1 & F_1^2 \dots F_{T-1}^{T-1} & F_1^T \\ 0 & E & F_1 \dots F_{T-2}^{T-1} & F_{T-1}^{T-1} \\ 0 & 0 & E \dots F_1^{T-3} & F_1^{T-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 \dots E & F_1 \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & E \end{bmatrix}$$

(B.39c)

²¹ Mit Lagerbestandsänderungen rechnet Chmielewicz in einer gleitenden Mehrperiodenplanung. Chmielewicz [Erfolgsplanung] 113 ff.

Die dynamischen Input-Output-Modelle B.33 bzw. B.34 für Typ I und B.39 bzw. B.40 für Typ II bilden unter Beachtung der Nichtnegativitätsbedingungen B.29 und der Kapazitätsbedingungen B.30 die Produktionsmöglichkeiten der Unternehmung während des Betrachtungszeitraums ab. Gegenüber der statischen Betrachtung werden die Wahlmöglichkeiten der Unternehmung in der zeitlichen Verteilung der Produktion deutlich. Bei vorgegebenen Absatzmengen und Lagerbeständen am Ende von T sowie eindeutigen Input-Output-Beziehungen in den Transformationsfunktionen enthalten die Modelle eine Vielzahl von Möglichkeiten, die erforderlichen Produktionsmengen auf die Intervalle zu verteilen. Betrachtet man die Einsatz- bzw. Ausbringungsmengen r_i^t des Ausbringungsvektors r^t sowie die Lagerendbestände der Intervalle $t = 0$ bzw. $1, \dots, T - 1$ bei gegebenen Absatzmengen als abhängige Variablen, deren Werte unter Beachtung der Nichtnegativitätsbedingungen wählbar sind, so enthalten die Gleichungssysteme B.33 bzw. B.34 von Modelltyp I $J \cdot T + J(T - 1) = J(2T - 1)$ abhängige Variablen bei $J \cdot T$ Gleichungen. Die Gleichungssysteme B.38 bzw. B.40 von Modelltyp II umfassen dagegen $J \cdot T + J \cdot T = 2 \cdot J \cdot T$ abhängige Variablen²² bei $J(T + 1)$ Gleichungen.

Die Höhe der Lagerbestände hängt von der zeitlichen Verteilung der Produktion ab. Die Unternehmung hat unter Beachtung der Kapazitäten, der Nichtnegativitätsbedingungen und gegebenenfalls sonstiger Nebenbedingungen die zeitliche Verteilung der Produktion auszuwählen, die ihre Zielfunktion optimal erfüllt.

Um den zulässigen Lösungsraum in der zeitlichen Verteilung der Produktion näher zu kennzeichnen, wird für diese dynamische Produktionsfunktion ein einfaches *Beispiel* untersucht. Der betrachtete Produktionsprozeß setzt sich entsprechend Abbildung 8 aus acht Teilprozessen zusammen. Der erste Teil-

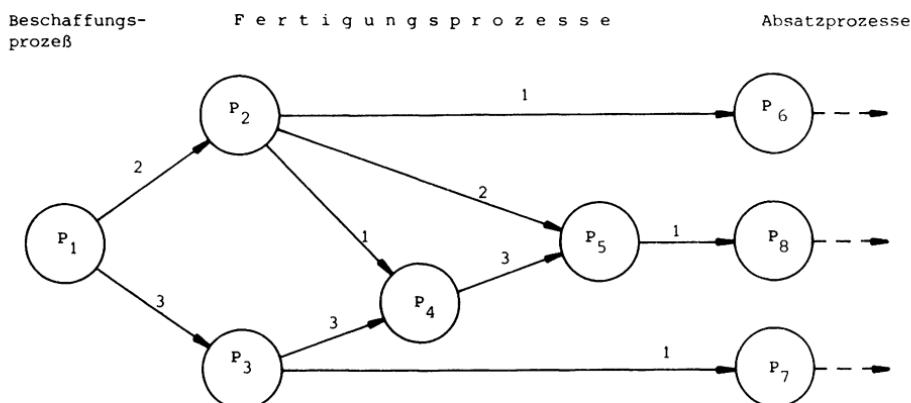


Abb. 8: Graph eines einfachen Produktionsprozesses

²² Die Zahl der abhängigen Variablen ist in Modelltyp II um J größer, weil die Lagerbestände l_0 nicht vorgegeben sind.

prozeß P_1 stellt einen Beschaffungsprozeß dar. Seine Ausbringungsmenge r_i^t gibt die originäre Einsatzgütermenge an, die im Intervall t beschafft wird. Die in den Fertigungsprozessen P_2 , P_3 und P_5 erzeugten Produkte können am Markt abgesetzt werden. Ihr Absatz erfolgt nur über die Absatzprozesse P_6 bis P_8 . Die Bildung von Auftragsbeständen wird ausgeschlossen. Daher stimmen die Ausbringungsmengen r_6^t , r_7^t und r_8^t der Absatzprozesse mit den Absatzmengen x_6^t , x_7^t und x_8^t überein. Vereinfachend werden Beschränkungen der Intervallkapazität außer acht gelassen.

Sämtliche Transformationsfunktionen werden als Leontief-Funktionen mit einer Verweilzeit θ von einem Intervall angenommen. Sie lauten daher:

$$r_{ij}^t = f_{ij}^1(\dots) \cdot r_j^{t+1} = \alpha_{ij}^1 \cdot r_j^{t+1} \quad (B.41)$$

Die Direktverbrauchsmatrix $F_1 = A_1$ besteht somit aus konstanten Produktionskoeffizienten, deren Werte an den Kanten des Produktionsgraphen in Abbildung 8 eingetragen sind. Für jedes Intervall t gilt entsprechend B.32a das Gleichungssystem B.42:

$$\begin{bmatrix} r_1^t \\ r_2^t \\ r_3^t \\ r_4^t \\ r_5^t \\ r_6^t \\ r_7^t \\ r_8^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_1^{t+1} \\ r_2^{t+1} \\ r_3^{t+1} \\ r_4^{t+1} \\ r_5^{t+1} \\ r_6^{t+1} \\ r_7^{t+1} \\ r_8^{t+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1^t \\ x_2^t \\ x_3^t \\ x_4^t \\ x_5^t \\ x_6^t \\ x_7^t \\ x_8^t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1^t \\ l_2^t \\ l_3^t \\ l_4^t \\ l_5^t \\ l_6^t \\ l_7^t \\ l_8^t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_1^{t-1} \\ l_2^{t-1} \\ l_3^{t-1} \\ l_4^{t-1} \\ l_5^{t-1} \\ l_6^{t-1} \\ l_7^{t-1} \\ l_8^{t-1} \end{bmatrix} \quad (B.42)$$

Die Lagerbestandsvariablen l_6^t , l_7^t und l_8^t bzw. l_6^{t-1} , l_7^{t-1} und l_8^{t-1} sind gleich Null, weil Auftragsbestände ausgeschlossen werden. Da der Absatz nur über Absatzprozesse erfolgt, sind die Absatzmengen der ersten fünf Prozesse gleich Null. Das Gleichungssystem B.42 lässt sich vereinfachen, indem man den Output der Absatzprozesse P_6 , P_7 und P_8 als absatzbestimmten Output der Fertigungsprozesse P_2 , P_3 und P_5 ansetzt. Hierbei ist zu beachten, daß die dynamischen Transformationsfunktionen B.41 auch für die Absatzprozesse gelten. Die in Intervall t erzeugten Produkte können erst im darauffolgenden Intervall $t+1$ abgesetzt werden. Also sind die Gleichungen B.43 gültig:

$$\begin{aligned} x_2^t &= x_6^{t+1} \\ x_3^t &= x_7^{t+1} \\ x_5^t &= x_8^{t+1} \end{aligned} \quad (B.43)$$

Setzt man diese Gleichungen B.43 in das Gleichungssystem B.42 ein, dann kann in diesem ohne Beeinträchtigung des Informationsgehaltes auf die letzten drei Gleichungen verzichtet werden. Man erhält das vereinfachte Gleichungssystem B.44:

$$\begin{bmatrix} r_1^t \\ r_2^t \\ r_3^t \\ r_4^t \\ r_5^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1^{t+1} \\ r_2^{t+1} \\ r_3^{t+1} \\ r_4^{t+1} \\ r_5^{t+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ x_6^{t+1} \\ x_7^{t+1} \\ 0 \\ x_8^{t+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1^t \\ l_2^t \\ l_3^t \\ l_4^t \\ l_5^t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_1^{t-1} \\ l_2^{t-1} \\ l_3^{t-1} \\ l_4^{t-1} \\ l_5^{t-1} \end{bmatrix} \quad (B.44)$$

Der Betrachtungszeitraum wird in vier Intervalle unterteilt. Für jede Güterart sind gemäß Abbildung 9 die Bestände \bar{l}_i^0 zu Beginn des Betrachtungszeitraums, die Absatzmengen x_i^t sowie Mindestlagerbestände \bar{l}_i^t als Sicherheitsbestände für jedes Intervall gegeben²³.

Güterart: i	Güterbestand zu Beginn des Betrachtungszeit- raums: \bar{l}_i^0	Nicht disponierte Mindest- lagerbestände am Ende von Intervall t: \bar{l}_i^t	Absatzmenge im Intervall t: x_i^t				
			t =	0	1	2	3
1	300	$\bar{l}_1^t: 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 300$	$x_1^t: 0 \ 0 \ 0 \ 0$				
2	380	$\bar{l}_2^t: 20 \ 10 \ 20 \ 10 \ 200$	$x_2^t = x_6^{t+1}: 5 \ 30 \ 10 \ 0$				
3	560	$\bar{l}_3^t: 20 \ 10 \ 20 \ 10 \ 150$	$x_3^t = x_7^{t+1}: 5 \ 30 \ 10 \ 0$				
4	40	$\bar{l}_4^t: 10 \ 10 \ 10 \ 5 \ 100$	$x_4^t: 0 \ 0 \ 0 \ 0$				
5	20	$\bar{l}_5^t: 10 \ 10 \ 20 \ 5 \ 30$	$x_5^t = x_8^{t+1}: 10 \ 60 \ 10 \ 0$				

Abb. 9: Beispiel für vorgegebene Lagerbestands- und Absatzmengen

²³ Die Lagerbestände am Ende des Betrachtungszeitraums sind (wie die Anfangslagerbestände \bar{l}_i^0) wesentlich höher als die Mindestbestände der anderen Intervalle, weil sie unter Annahme der Weiterproduktion die nicht explizit erfassten Einsatz- und Absatzmengen des nach T folgenden Intervalls enthalten.

Da die Ausbringungsmengen r_i^t nicht negativ sein können und die rechten Seiten der Gleichungen von B.44 auch negative Glieder aufweisen, können für die Lagerbestands- und die Absatzvariablen keine beliebigen nichtnegativen Werte vorgegeben werden. Bei Vorgabe von Lagermindestbeständen \bar{l}_i^t sind zusätzliche Variablen \tilde{l}_i^t einzuführen. Diese geben an, um wieviel der tatsächliche Lagerbestand l_i^t den Mindestbestand überschreitet. Zwischen tatsächlichem Lagerbestand l_i^t , Mindestlagerbestand \bar{l}_i^t und Lagerbestandsabweichung \tilde{l}_i^t besteht die Beziehung B.45:

$$\begin{aligned} l_i^t &= \hat{l}_i^t + \tilde{l}_i^t \\ \tilde{l}_i^t &\geq 0 \end{aligned} \quad (\text{B.45})$$

Damit erhält man entsprechend dem Ansatz B.39b in diesem Beispiel die dynamische Produktionsfunktion B.46a:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ x_1^0 \\ x_2^0 \\ x_3^0 \\ x_4^0 \\ x_5^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E - A_1 & A_1 - A_1^2 & A_1^2 - A_1^3 & A_1^3 - A_1^4 & A_1^4 \\ -E & E - A_1 & A_1 - A_1^2 & A_1^2 - A_1^3 & A_1^3 \\ 0 & -E & E - A_1 & A_1 - A_1^2 & A_1^2 \\ 0 & 0 & -E & E - A_1 & A_1 \\ 0 & 0 & 0 & -E & E \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{x}^0 + \tilde{x}^1 \\ \tilde{x}^1 + \tilde{x}^2 \\ \tilde{x}^2 + \tilde{x}^3 \\ \tilde{x}^3 + \tilde{x}^4 \\ \tilde{x}^4 + \tilde{x}^5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \tilde{x}^0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E & A_1 & A_1^2 & A_1^3 & A_1^4 \\ 0 & E & A_1 & A_1^2 & A_1^3 \\ 0 & 0 & E & A_1 & A_1^2 \\ 0 & 0 & 0 & E & A_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ x_1^1 \\ x_2^1 \\ x_3^1 \\ x_4^1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ x_1^2 \\ x_2^2 \\ x_3^2 \\ x_4^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ x_1^3 \\ x_2^3 \\ x_3^3 \\ x_4^3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ x_1^4 \\ x_2^4 \\ x_3^4 \\ x_4^4 \end{bmatrix}$$

(B.46a)

Nach Einsetzen der in Abbildung 9 gegebenen Werte der Variablen \tilde{x}_i^0 , \tilde{l}_i^t und x_i^t für $i = 1, \dots, 5$ und $t = 0, \dots, 4$ ergibt sich das in Abbildung 10 dargestellte Gleichungssystem B.46b. In ihm sind nur noch die Ausbringungsmengen r_i^t und die Lagermengen \bar{l}_i^t als abhängige Variablen enthalten. Der Produktionsprozeß dieses Beispiels umfaßt für die Absatzmenge $x_8^t = x_5^{t+1}$ drei Fertigungsstufen. Die längste Durchlaufzeit eines Fertigungsprozesses beträgt ohne Zwischenlagerung drei Intervalle²⁴. Deshalb ist die Matrix A_1^4 eine Nullmatrix.

Das Gleichungssystem B.46 besteht im betrachteten Beispiel aus $5 \cdot 5 = 25$ Gleichungen mit $5 \cdot 4 = 20$ Variablen r_i^t und $5 \cdot 5 = 25$ Variablen \bar{l}_i^t . Es wird somit durch eine Vielzahl von Lösungen erfüllt. Zulässig sind jedoch nur Lösungen mit nichtnegativen Werten von r_i^t und \bar{l}_i^t . Mit Hilfe des Simplexverfahrens lassen sich bei Vorgabe einer Zielfunktion mehrere zulässige und die optimale zeitliche Verteilung der Produktions- und Lagermengen bestimmen. Als Ziele können beispielsweise die Minimierung der Lagermengen, der Lagerkosten sowie der Summe aus Herstellungs- und Lagerkosten verfolgt werden.

²⁴ Dabei ist zu berücksichtigen, daß durch die Vereinfachung des Gleichungssystems mit Hilfe der Gleichungen B.43 die Zeittypen der Absatzprozesse in B.44 nicht mehr enthalten ist. Zum Beispiel wird x_5^t erst im Intervall $t+1$ abgesetzt, da $x_5^t = x_8^{t+1}$ gilt. Bei expliziter Berücksichtigung der Absatzprozesse beträgt die längste Durchlaufzeit vier Intervalle. Dann ist erst A_1^5 eine Nullmatrix.

$$\begin{aligned}
 & \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} -210 \\ -130 \\ 90 \\ 0 \\ -10 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 1 -2 -3 0 0 \\ 0 1 0 -1 -2 \\ 0 0 1 -3 0 \\ 0 0 0 1 -3 \\ 0 0 0 0 1 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^0 \\ \tilde{1}^1 \\ \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 0 2 3 -11 -4 \\ 0 0 0 1 -1 \\ 0 0 0 3 -9 \\ 0 0 0 0 3 \\ 0 0 0 0 0 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^1 \\ \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 0 0 0 11 -29 \\ 0 0 0 0 3 \\ 0 0 0 9 0 \\ 0 0 0 0 0 \\ 0 0 0 0 0 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 0 0 0 0 33 \\ 0 0 0 0 0 \\ 0 0 0 0 0 \\ 0 0 0 0 0 \\ 0 0 0 0 0 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \dots \\
 & \left[\begin{array}{c} r_1^1 \\ r_2^1 \\ r_3^1 \\ r_4^1 \\ r_5^1 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 950 \\ 120 \\ -50 \\ 210 \\ 10 \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^0 \\ \tilde{1}^1 \\ \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 1 -2 -3 0 0 \\ 0 1 0 -1 -2 \\ 0 0 1 -3 0 \\ 0 0 0 1 -3 \\ 0 0 0 0 1 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^1 \\ \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 0 2 3 -11 -4 \\ 0 0 0 1 -1 \\ 0 0 0 3 -9 \\ 0 0 0 0 3 \\ 0 0 0 0 0 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 0 0 0 11 -29 \\ 0 0 0 0 3 \\ 0 0 0 9 0 \\ 0 0 0 0 0 \\ 0 0 0 0 0 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \dots \\
 & \left[\begin{array}{c} r_1^2 \\ r_2^2 \\ r_3^2 \\ r_4^2 \\ r_5^2 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1145 \\ 100 \\ 250 \\ -15 \\ 70 \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^1 \\ \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 1 -2 -3 0 0 \\ 0 1 0 -1 -2 \\ 0 0 1 -3 0 \\ 0 0 0 1 -3 \\ 0 0 0 0 1 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^1 \\ \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 0 2 3 -11 -4 \\ 0 0 0 1 -1 \\ 0 0 0 3 -9 \\ 0 0 0 0 3 \\ 0 0 0 0 0 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 0 0 0 11 4 \\ 0 0 0 0 3 \\ 0 0 0 9 0 \\ 0 0 0 0 0 \\ 0 0 0 0 0 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \dots \\
 & \left[\begin{array}{c} r_1^3 \\ r_2^3 \\ r_3^3 \\ r_4^3 \\ r_5^3 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 800 \\ 145 \\ 285 \\ 70 \\ -5 \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 1 -2 -3 0 0 \\ 0 1 0 -1 -2 \\ 0 0 1 -3 0 \\ 0 0 0 1 -3 \\ 0 0 0 0 1 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^1 \\ \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 0 2 3 0 0 \\ 0 0 0 1 2 \\ 0 0 0 3 0 \\ 0 0 0 0 3 \\ 0 0 0 0 0 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \dots \\
 & \left[\begin{array}{c} r_1^4 \\ r_2^4 \\ r_3^4 \\ r_4^4 \\ r_5^4 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 300 \\ 190 \\ 140 \\ 95 \\ 25 \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 1 -2 -3 0 0 \\ 0 1 0 -1 -2 \\ 0 0 1 -3 0 \\ 0 0 0 1 -3 \\ 0 0 0 0 1 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^1 \\ \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 0 2 3 0 0 \\ 0 0 0 1 2 \\ 0 0 0 3 0 \\ 0 0 0 0 3 \\ 0 0 0 0 0 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \tilde{1}^2 \\ \tilde{1}^3 \\ \tilde{1}^4 \\ \tilde{1}^5 \end{array} \right] + \dots
 \end{aligned}$$

(B.46b)

Abb. 10: Dynamische Produktionsfunktion des Beispiels

\bar{t}	r_1^t	r_{12}^t	r_{13}^t	\bar{r}_1^t	r_2^t	r_{24}^t	r_{25}^t	$x_6^{t+1} = x_6^t$	\bar{r}_3^t	r_{34}^t	$x_7^{t+1} = x_7^t$	\bar{r}_4^t	r_{45}^t	\bar{r}_5^t	$x_8^{t+1} = x_8^t$	\bar{r}_5^t	\bar{r}_5^t	\bar{r}_5^t		
0	0	120	0	180	0	180	20		20	160	540	20	0	30	10	0	10	10		
1	400	100	480	0	0	0	15	120	5	10	30	45	5	10	180	180	10	10	10	
2	1125	270	855	0	0	50	40	0	30	20	0	160	120	30	20	0	15	60	0	0
3	800	380	420	0	0	135	95	40	10	0	285	10	10	0	40	60	5	0	10	5
4	300	0	0	300	0	190	0	0	0	200	0	140	0	0	150	0	95	0	100	0

Lösung I: $\bar{r}_1^0 = 180$; $\bar{r}_2^0 = 160$; $\bar{r}_5^0 = 10$; $\bar{r}_5^1 = 30$; $\bar{r}_5^2 = 10$; $\bar{r}_5^3 = 15$; $\bar{r}_5^4 = 5$.

\bar{t}	r_1^t	r_{12}^t	r_{13}^t	\bar{r}_1^t	r_2^t	r_{24}^t	r_{25}^t	$x_6^{t+1} = x_6^t$	\bar{r}_3^t	r_{34}^t	$x_7^{t+1} = x_7^t$	\bar{r}_4^t	r_{45}^t	\bar{r}_5^t	$x_8^{t+1} = x_8^t$	\bar{r}_5^t	\bar{r}_5^t	\bar{r}_5^t		
0	0	0	0	300	0	180	0		20	180	540	20	0	0	10	30	10	10	10	
1	400	100	600	0	0	0	140	5	10	45	0	0	5	10	5	180	210	0	0	
2	1125	270	855	0	0	50	55	0	30	20	0	200	165	30	20	0	10	70	60	0
3	800	380	420	0	0	135	95	40	10	0	285	10	10	0	55	60	5	0	10	5
4	300	0	0	300	0	190	0	0	0	200	0	140	0	0	150	0	95	0	100	0

Lösung II: $\bar{r}_1^0 = 300$; $\bar{r}_2^0 = 180$; $\bar{r}_4^0 = 30$; $\bar{r}_5^0 = 10$; $\bar{r}_1^1 = 45$; $\bar{r}_3^1 = 5$; $\bar{r}_5^3 = 5$.

Abb. 11: Zwei zulässige Lösungen des Beispieles zur zeitlichen Verteilung der Produktion

Um eine erste zulässige Lösung des Gleichungssystems B.46b zu ermitteln, kann man z. B. künstliche Variablen einführen und über das Simplexverfahren die Summe der künstlichen Variablen minimieren²⁵. In Abbildung 11 sind zwei verschiedene zulässige Lösungen dieses Beispiels aufgeführt. Die Lagerbestände am Ende des Betrachtungszeitraums und die Summe der Produktionsmengen je Güterart stimmen in beiden Lösungen überein. Jedoch sind die Produktionsmengen der Güter drei, vier und fünf unterschiedlich auf die Intervalle verteilt. Ferner unterscheiden sich die Summen der Abweichungen vom Mindestlagerbestand.

Im *Modelltyp III* wird angenommen, daß der Produktionsprozeß Teilprozesse und Einsatzgüter mit unterschiedlichen Verweilzeiten $\Theta = 0, \dots, \phi$ umfaßt. Das Modell setzt sich in diesem Fall aus den Gleichungen B.28

$$r_i^T = \sum_{\kappa=0}^{\phi} \sum_{j=1}^J f_{ij}^{\kappa} (\dots) r_j^{T+\kappa} + x_i^T + l_i^T - l_i^{T-1}$$

zusammen. Die funktionalen Beziehungen $f_{ij}^{\Theta} (\dots)$ mit gleicher Verweilzeit Θ werden jeweils in Direktverbrauchsmatrizen F_{Θ} zusammengefaßt. Wie bei Modell II können die Bestimmungsgleichungen des Ausbringungsvektors r^T eines jeden Intervalls in die Gütermengengleichungen des jeweils vorausgehenden Intervalls eingesetzt werden. Auf diese Weise kann auch das Modell III rückwärtschreitend bis zu den Gleichungen des Lagerbestands l^0 zu Beginn des Betrachtungszeitraums entwickelt werden.

Man erhält aus B.32 für das Intervall T die Beziehung B.47a:

$$r^T = F_0 r^T + x^T + \ell^T - \ell^{T-1} \quad (\text{B. 47a})$$

Setzt man die Existenz der Gesamtverbrauchsmatrix $(E - F_0)^{-1}$ voraus, so kann B.47a nach dem Ausbringungsvektor r^T aufgelöst werden:

$$r^T = (E - F_0)^{-1} \cdot (x^T + \ell^T - \ell^{T-1}) \quad (\text{B. 47b})$$

Die Gleichung des vorletzten Intervalls $T-1$

$$r^{T-1} = F_0 r^{T-1} + F_1 r^T + x^{T-1} + \ell^{T-1} - \ell^{T-2} \quad (\text{B. 48a})$$

lässt man ebenfalls nach dem Ausbringungsvektor r^{T-1} auf und erhält

$$r^{T-1} = (E - F_0)^{-1} \cdot [F_1 r^T + x^{T-1} + \ell^{T-1} - \ell^{T-2}] \quad (\text{B. 48b})$$

²⁵ Zu diesem Verfahren der Ermittlung einer ersten zulässigen Basislösung bei Vorliegen von Gleichungen in linearen Programmierungsmodellen vgl. Dantzig [Lineare Programmierung] 119 ff.

Setzt man B.47b in B.48b ein, dann ergibt sich:

$$\begin{aligned} r^{T-1} &= (E - F_o)^{-1} \cdot F_1 \cdot (E - F_o)^{-1} \cdot (x^T + \ell^T - \ell^{T-1}) \\ &\quad + (E - F_o)^{-1} \cdot (x^{T-1} + \ell^{T-1} - \ell^{T-2}) \end{aligned} \quad (\text{B. 49})$$

Auf entsprechende Weise lässt sich das Input-Output-Modell beispielsweise für $T = 4$ Intervalle entwickeln:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ r^1 \\ r^2 \\ r^3 \\ r^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_o^* & F_1^* & F_2^* & F_3^* & F_4^* \\ 0 & F_o^* & F_1^* & F_2^* & F_3^* \\ 0 & 0 & F_o^* & F_1^* & F_2^* \\ 0 & 0 & 0 & F_o^* & F_1^* \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_o^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ x^1 \\ x^2 \\ x^3 \\ x^4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ell^o \\ \ell^1 \\ \ell^2 \\ \ell^3 \\ \ell^4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{\ell}^o \\ \bar{\ell}^1 \\ \bar{\ell}^2 \\ \bar{\ell}^3 \end{bmatrix} \quad (\text{B. 50})$$

mit

$$F_o^* = (E - F_o)^{-1}$$

$$F_1^* = F_o^* \cdot F_1 \cdot F_o^*$$

$$F_2^* = F_o^* \cdot F_1 \cdot F_1^* + F_o^* \cdot F_2 \cdot F_o^*$$

$$F_3^* = F_o^* \cdot F_1 \cdot F_2^* + F_o^* \cdot F_2 \cdot F_1^* + F_o^* \cdot F_3 \cdot F_o^*$$

$$F_4^* = F_o^* \cdot F_1 \cdot F_3^* + F_o^* \cdot F_2 \cdot F_2^* + F_o^* \cdot F_3 \cdot F_1^* + F_o^* \cdot F_4 \cdot F_o^*$$

Wie man ohne Schwierigkeiten erkennt, gilt allgemein die Beziehung B.51:

$$r^t = \sum_{\kappa=o}^{T-t} F_\kappa^* \cdot [x^{t+\kappa} + \ell^{t+\kappa} - \ell^{t+\kappa-1}] \quad (\text{B. 51})$$

$t=o, \dots, T; \quad r^o = o; \quad \ell^{-1} = \bar{\ell}^o$

wobei $F_o^* := (E - F_o)^{-1}$

$$F_\kappa^* := \sum_{v=1}^{\kappa} (E - F_o)^{-1} \cdot F_v \cdot F_{\kappa-v}^*$$

Das Gleichungssystem vereinfacht sich wesentlich, wenn man $F_0 = 0$ setzt und damit Verweilzeiten von weniger als einem Intervall ausschließt.

Das Gleichungssystem B.51 stellt die *dynamische Produktionsfunktion* der Unternehmung bei *Transformationsfunktionen für Verweilzeiten mit unterschiedlicher Dauer* dar.

Auch für das Modell III gelten die Nichtnegativitätsbedingungen B.29 für r_i^t , x_i^t und l_i^t . Die Kapazitätsbedingungen müssen gegenüber den Modellen I und II erweitert werden. Wenn ein Teilprozeß eine Fertigungsdauer von mehreren Intervallen besitzt, kann derselbe Prozeß nicht in jedem Intervall neu begonnen werden. Durch die Kapazitätsbedingungen muß festgelegt werden, daß ein Teilprozeß i mit einer Fertigungsdauer von θ_i Intervallen innerhalb dieser Zeit höchstens einmal begonnen bzw. abgeschlossen werden kann. Zur Erfassung dieser Bedingung können binäre Zuordnungsvariablen z_i^t eingeführt werden, die wie folgt definiert sind:

$$z_i^t = \begin{cases} 1, & \text{sofern im Intervall } t \text{ der } i\text{-te Teilprozeß abgeschlossen} \\ & \text{und die } i\text{-te Produktart fertiggestellt werden} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Diese Zuordnungsvariablen müssen entsprechend B.52 nichtnegativ und ganzzahlig sein²⁶.

$$z_i^t \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad (\text{B.52})$$

Die Ausbringungsmenge r_i^t des i -ten Teilprozesses kann im Intervall t nur dann größer als Null sein, wenn die entsprechende Zuordnungsvariable z_i^t gleich Eins ist²⁷. Ferner darf r_i^t die Kapazität Q_i der i -ten Produktiveinheit nicht überschreiten. Diese Beziehungen werden durch die Nebenbedingungen B.53 ausgedrückt:

$$r_i^t \leq z_i^t \cdot Q_i \quad (\text{B.53})$$

Jeder Teilprozeß i benötigt eine bestimmte Fertigungsdauer θ_i . Die Nebenbedingungen B.54

$$\sum_{t=\kappa}^{\kappa+\theta_i-1} z_i^t \leq 1 \quad \text{für } \kappa = \theta_i - 1, \dots, T \quad (\text{B.54})$$

stellen sicher, daß er innerhalb dieser Zeit höchstens einmal begonnen und beendet werden kann²⁸. Durch zusätzliche Nebenbedingungen ist festzulegen, wann ein Teilprozeß erstmals abgeschlossen werden kann. Die Endzeitpunkte der Teilprozesse, die sich zu Beginn des Betrachtungszeitraums in Gang befinden, sind vorgegeben. Für alle Teilprozesse, die frühestens zu Beginn des ersten Intervalls gestartet werden können, lassen sich die Nebenbedingungen B.55 aufstellen:

²⁶ Vgl. Fußnote 28.

²⁷ Vgl. zur Formulierung derartiger Beziehungen Dinkelbach [Produktionsplanung]

⁷⁷ Vgl. auch Vazsonyi [Lot-Size] 31.

²⁸ Durch diese Bedingung wird auch sichergestellt, daß die Werte der Zuordnungsvariablen Eins nicht übersteigen.

$$\sum_{t=1}^{\theta_i - 1} z_i^t = 0 \quad (B.55)$$

Durch die Einführung der Binärvariablen z_i^t sowie der Nebenbedingungen B.52 bis B.54 wird die numerische Lösbarkeit des Modells III deutlich erschwert.

In dem beschriebenen Modell III ist auch die Möglichkeit enthalten, daß mehrere Einsatzgüter zur Herstellung derselben Produktmenge r_i^t in verschiedenen Intervallen nacheinander einzusetzen sind²⁹. Dann sind für einen Prozeß i positive Elemente $f_{ji}^\theta(\dots)$ in verschiedenen Direktverbrauchsmatrizen F_θ mit unterschiedlichen Verweilzeiten θ definiert. Die Fertigungsdauer θ_i des i -ten Prozesses entspricht der längsten Verweilzeit θ der in ihm eingesetzten Güter.

Der Geltungsbereich des Modells III wird vor allem durch die Prämisse eingeschränkt, daß die Fertigungsdauern θ_i sowie die Verweilzeiten θ der Einsatzgüter unabhängig von den Ausbringungsmengen für jeden Prozeß gegeben und konstant sind³⁰. Diese Annahme entspricht nur bei Chargenprozessen exakt der Realität. Insbesondere bei geschlossener Produktion sind die Fertigungsdauern der Aufträge in den einzelnen Arbeitsgängen von der jeweiligen Losgröße abhängig. Durch die Nebenbedingungen B.53 bis B.55 wird aber nur die Zahl der innerhalb einer gegebenen Fertigungsdauer herstellbaren Produkte beschränkt. Deshalb kann das Modell lediglich als näherungsweise Abbildung der Realität unter der Annahme durchschnittlicher Fertigungsdauern und Verweilzeiten angesehen werden. Die Interdependenzen zwischen Losgrößen und Fertigungsdauern können mit ihm nicht erfaßt werden.

In den drei Produktionsfunktionen ist unterstellt worden, daß jede Produktiveinheit nur eine Produktart erzeugt. Werden verschiedene Produktarten von derselben Produktiveinheit hergestellt, so muß die Bearbeitungsreihenfolge der Produkte festgelegt werden. Dabei ist über die Gangfolgen der Herstellungsmengen r^t , welche in der Produktionsfunktion als abhängige Variablen enthalten sind, und nicht über Gangfolgen von Absatz- oder Lagermengen zu entscheiden. Deshalb ist nicht erkennbar, wie die Alternativen der Produktreihenfolgen an den Produktiveinheiten über Gangfolgevariablen unmittelbar in der Produktionsfunktion abgebildet werden könnten. Vielmehr erscheint es notwendig, den Einfluß der Gangfolgen auf Gütereinsatz und Güterausbringung in einem eigenen, mit der Produktionsfunktion verbundenen System von Nebenbedingungen zu berücksichtigen, das den Alternativenraum der Gang-

²⁹ Dieser Fall wird insbesondere bei Langen, Edin sowie Pönnighaus untersucht und mit Hilfe verschiedener anderer Algorithmen gelöst. Langen u. a. [Unternehmensplanung] 81 ff.; Edin [Analyse] 96 ff.; Pönnighaus [Multiplikatoren] 666 ff.

³⁰ Diese Annahme machen z. B. Langen u. a. [Unternehmensplanung] 81 ff.; Edin [Analyse] 96 ff.; Chmielewicz [Erfolgsplanung] 178 ff.; Meier/Seidel [Planung] 629 f. Dagegen ist die Verweilzeit eines Auftrags in der terminierten Teilebedarfsermittlung losgrößen-abhängig, jedoch muß die Auftragsreihenfolge vorgegeben werden. Vgl. Müller-Merbach [Berechnung] 115 ff.

folgen und damit der Herstellungsmengen wiedergibt. Ein derartiger Ansatz wird in Abschnitt C.II entwickelt.

Für bestimmte Fragestellungen wie die Ermittlung von Mindestproduktionsmengen bei vorgegebenen Gangfolgen und Absatzmengen kann es zweckmäßig sein, die Produktgleichungen nicht nach Intervallen, sondern nach Produktarten anzugeordnen. Dann folgen die Gleichungen einer Produktart für alle $t = 1, \dots, T$ Intervalle unmittelbar nacheinander. Der nach Produktarten geordnete Ansatz führt jedoch zu einem weniger einfach aufgebauten Gleichungssystem. Bei der Auflösung dieses Gleichungssystems nach den Vektoren der Ausbringungsmengen ist eine Kehrmatrix zu bestimmen, die insbesondere bei zyklischen Produktionsprozessen eine äußerst komplizierte Struktur annimmt. Der einfachere Aufbau der nach Intervallen geordneten dynamischen Produktionsfunktionen ist darauf zurückzuführen, daß zwischen den Variablen verschiedener Intervalle keine zyklischen Beziehungen bestehen können. Die Einsatzmenge eines Intervalls kann nicht zur Erzeugung des Outputs eines früheren Intervalls verwendet werden. Wenn die Fertigungsprozesse Zeit beanspruchen, löst sich daher ein Produktionszyklus in zeitlich nacheinander ablaufende Teilprozesse auf³¹. Ein Zyklus zwischen den Gütern i und j bezieht sich nur auf diese Güterarten und nicht auf die individuellen Gütereinheiten, weil die zu ihrer Herstellung notwendigen Teilprozesse zeitlich nacheinander durchzuführen sind. Deshalb ist bei intervallweiser Anordnung der Gleichungen innerhalb der Gesamtverbrauchsmatrix B.50 auf Seite 98 nur dann die Inverse einer Teilmatrix zu bestimmen, wenn bei einzelnen Teilprozessen eine geringere Fertigungsdauer Θ_i als ein Intervall unterstellt wird.

III. Abbildung der Strukturierungstatbestände des Produktionsprozesses im Input-Output-Ansatz

Der Input-Output-Ansatz bildet eine zweckmäßige Grundlage für die Analyse von Interdependenzen von Produktionstheorie und der Organisation des Produktionsprozesses, sofern in ihm auch organisatorische Tatbestände abgebildet werden können. Deshalb ist zu untersuchen, wie sich in diesem Ansatz die wichtigsten Strukturierungstatbestände des Produktionsprozesses erfassen lassen. Im Vordergrund steht dabei die Kennzeichnung organisatorischer Beziehungen zwischen den Elementen des Produktionsprozesses anhand der Strukturmatrix¹.

³¹ Deshalb muß das Wiedereinsatzgut (z. B. Energie) zumindest bei der ersten Durchführung des Produktionsprozesses von außen bezogen werden.

¹ Zur Untersuchung entsprechender Strukturmatrizen bei gesamtwirtschaftlichen Zusammenhängen vgl. Czayka [Input-Output-Analyse] 7 ff.

1. Abbildung der Struktur der Produktiveinheiten

a) Analyse der Bildung von Produktiveinheiten

Die Teilprozesse der Gütererstellung werden von Produktiveinheiten vollzogen, in denen Arbeitskräfte, maschinelle Anlagen und sonstige Arbeitsmittel wie Werkzeuge kombiniert sind. Die von ihnen durchgeführten Verrichtungen² können im betriebswirtschaftlichen Input-Output-Ansatz als Output der Produktiveinheiten interpretiert werden. Bestimmend für die Verrichtungen einer Produktiveinheit ist häufig die entweder von einer Maschine oder einer Arbeitskraft geleistete Arbeit. Im ersten Fall einer durch die Maschine bestimmten Produktiveinheit besteht die Tätigkeit einer an ihr eingesetzten Arbeitskraft vor allem in der Maschinenbedienung³. Dagegen stellen im zweiten Fall Arbeitsmittel wie Bohrmaschinen, Schreibmaschinen o. ä. lediglich Hilfsmittel für die Tätigkeit des Menschen dar. Demnach ist es in der Regel möglich, den Output einer Produktiveinheit entweder durch die Arbeit der sie bestimmenden Maschine m oder der sie bestimmenden Arbeitskraft a zu charakterisieren. Die Zusammensetzung der Produktiveinheit ist daraus ersichtlich, welche Arbeitskraft bzw. Arbeitskräfte der Maschine m oder welche Arbeitsmittel der Arbeitskraft a zugeordnet sind.

Wenn eine Produktiveinheit verschiedenartige Verrichtungen oder Verfahren⁴ vollziehen kann, ist für jede Verrichtungsart im Input-Output-Ansatz eine eigene Spalte (und Zeile) einzuführen. Sind artgleiche Verrichtungen mit verschiedenen Intensitätsgraden durchführbar, wird zweckmäßigerweise für jeden Intensitätsgrad eine eigene Verrichtungsart mit konstanter Intensität definiert⁵.

Grundlegend für die Kennzeichnung der Produktiveinheiten sind die Teilmatrizen S_{AM} und S_{MA} der zerlegten Strukturmatrix S*. Aus ihrer Besetzung mit Einserelementen ist ersichtlich, welche Arbeitskräfte bestimmten maschinellen Anlagen und welche maschinellen Anlagen sowie sonstigen Arbeitsmitteln wie Werkzeuge bestimmten Arbeitskräften zugeordnet sind. Sofern eine Arbeitskraft in verschiedenen Produktiveinheiten mehrere Maschinen bedient, enthält ihre Zeile in S_{AM} mehrere Einserlemente in verschiedenen Spalten. Sind dagegen mehrere Arbeitskräfte an derselben Maschine tätig, so treten in einer Spalte von S_{AM} mehrere Einserlemente für verschiedene Arbeitskräfte auf.

Die Besetzung der Teilmatrizen S_{AM} bzw. S_{MA} mit Einserelementen zeigt somit, welche Arbeitskräfte und maschinellen Anlagen in Produktiveinheiten zu-

² Eine Verrichtungseinheit entspricht dem Begriff der Arbeitseinheit bei Kilger [Produktionstheorie] 54.

³ Vgl. Hackstein/Kleensang [Auswirkungen] 537.

⁴ Vgl. Stähly [Fabrikationsplanung] 41.

⁵ Albach [Produktionsplanung] 64; Jacob [Produktionsplanung] 249 ff.

⁶ Vgl. S. 64.

sammengefaßt sind. Ist die Bildung der Produktiveinheiten nicht vorgegeben, so können Alternativen ihrer gegenseitigen Zuordnung durch die Einführung binärer Zuordnungsvariablen erfaßt werden. Diese Zuordnungsvariablen z_{am} (bzw. z_{ma}) können lediglich die Werte Null oder Eins annehmen. Sie geben an, ob die Arbeitskraft a der Maschine m (bzw. entsprechend das Arbeitsmittel m der Arbeitskraft a) zugeordnet ist oder nicht.

Beispielsweise gilt:

$$z_{am} = \begin{cases} 1, & \text{sofern die Arbeitskraft } a \text{ der maschinellen Anlage } m \text{ zugeordnet ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

An die Stelle der Elemente Null bzw. Eins in S_{AM} treten im Falle alternativ möglicher Zuordnungen von Anlagen und Arbeitskräften die Elemente z_{am} . Die einander ausschließenden Möglichkeiten der Zuordnung von Arbeitskräften und maschinellen Anlagen lassen sich durch Nebenbedingungen wiedergeben, die mit den Zuordnungsvariablen z_{am} formuliert werden⁷. Vertretungsverhältnisse zwischen Arbeitskräften in einer Produktiveinheit können ebenfalls durch Nebenbedingungen ausgedrückt werden.

Als Beispiel ist in Abbildung 12 eine Teilmatrix S_{AM} dargestellt. Die Produktiveinheiten sind durch die von den Maschinen eins bis sechs vollzogenen Verrichtungen charakterisiert. Die zweite Maschine kann zwei verschiedene Verrichtungsarten durchführen (oder mit zwei Intensitätsgraden arbeiten). An der Maschine drei sind zwei Arbeitskräfte eingesetzt, während die Maschinen zwei, vier und fünf zugleich von einer Arbeitskraft bedient werden. Für die Arbeitskräfte eins, drei und vier sowie die Maschinen zwei bis fünf ist die Zuordnung vorgegeben. Dagegen kann die Arbeitskraft zwei (fünf) entweder die Maschine eins (sechs) oder die Maschine sechs (eins) bedienen.

\bullet	\bullet	"1	"21	"22	"3	"4	"5	"6
a_1		0	0	0	1	0	0	0
a_2		z_{21}	0	0	0	0	0	z_{26}
a_3		0	0	0	1	0	0	0
a_4		0	1	1	0	1	1	0
a_5		z_{51}	0	0	0	0	0	z_{56}

 $= S_{AM}$

Abb. 12: Beispiel für die Abbildung der Zusammensetzung von Produktiveinheiten in der Strukturmatrix S_{AM}

Maßgebend für die Bildung von Produktiveinheiten ist die Ausstattung der Unternehmung mit Arbeitskräften und maschinellen Anlagen. Diese schlägt sich in der Strukturmatrix S in der Zahl der zu berücksichtigenden Arbeitskräfte

⁷ Vgl. Abschnitt D.

te bzw. Maschinen nieder. Neben der Anzahl von Verrichtungsarten, die von jeder Arbeitskraft bzw. Maschine durchgeführt werden kann, bestimmt sie die Anzahl der Zeilen sowie Spalten für Arbeitskräfte und maschinelle Anlagen.

Die Strukturmatrix S bildet auch die grundlegenden Komponenten der qualitativen Leistungsfähigkeit von Produktiveinheiten ab. Aus der Zahl der zu einer Produktiveinheit gehörenden Spalten in S_{AM} (bzw. S_{MA}) ist ersichtlich, ob diese Produktiveinheit verschiedene Verrichtungsarten oder gleichartige Verrichtungen mit unterschiedlichen Intensitätsgraden vollziehen kann. Darüber hinaus gibt die Arbeitseinsatzmatrix⁸ S_{MP} (bzw. S_{AP}) an, welche verschiedenen Zwischen- und Endproduktarten die einzelnen Produktiveinheiten herstellen (können). Die Fähigkeit zur Durchführung von Beschaffungsprozessen bei Roh- oder Betriebsstoffen⁹ wird aus S_{AR} bzw. S_{AB} , zur Durchführung von Vertriebsprozessen aus S_{AV} , zur Durchführung von Rüstprozessen aus S_{AU} und zur Eigenerzeugung von Betriebsstoffen aus S_{MC} erkennbar.

Wichtige Komponenten der quantitativen Leistungsfähigkeit wie die Ausprägung der Arbeitsintensität, die Höhe des Ausschusses sowie technische Größen wie Temperatur, Druck, Drehmomente o. ä.¹⁰ gehen in die Transformationsfunktionen ein. Auch die Arbeits- und die Belegungszeiten werden nicht in der Strukturmatrix erfaßt. Sie treten als Beschränkungsgrößen in Nebenbedingungen auf.

b) Analyse der Organisationstypen der Fertigung

Maßgebend für den Organisationstyp der Fertigung sind die räumliche Anordnung der Produktiveinheiten und die potentiellen Arbeitsbeziehungen zwischen ihnen. In dem hier entwickelten Input-Output-Ansatz wird die Raumdimension nicht explizit erfaßt. Die räumliche Anordnung der Produktiveinheiten kann aber indirekt zum Ausdruck gebracht werden, indem man die räumlich zu einer Werkstatt bzw. einer Fertigungslinie zusammengefaßten Produktiveinheiten in unmittelbar aufeinanderfolgenden Zeilen aufführt und mit einem gemeinsamen Index versieht. Zur Kennzeichnung der Arbeitsbeziehungen sind die zum Stückprozeß einer Endproduktart gehörenden Produktarten in der Reihenfolge ihrer Arbeitsgänge in unmittelbar aufeinanderfolgenden Spalten anzugeben und mit einem gemeinsamen (Stückprozeß-)Index zu bezeichnen. Dies ist möglich, soweit nicht gleichartige Zwischenprodukte zur Er-

⁸ Wie auf Seite 63 eingeführt, bezeichnen bei den Teilmatrizen von S^* die Indices A menschliche Arbeit, M maschinelle Arbeit, P Produkte, R Rohstoffe, B von außen bezogene Betriebsstoffe, V Vertriebsprozesse, U Umrüstprozesse und C selbsterstellte Betriebsstoffe.

⁹ In der Regel ist die Leistung menschlicher Arbeitskräfte für Beschaffungs-, Vertriebs- und Rüstprozesse bestimend, während die Eigenerzeugung von Betriebsstoffen vor allem durch Maschinen erfolgt.

¹⁰ Vgl. Pressmar [Leistungsanalyse] 121.

zeugung verschiedenartiger Endprodukte verwendet werden. Die Differenzierbarkeit der Stückprozesse wird daher durch die Vergenz des Objektflusses bestimmt.

Zwischen dem Organisationstyp der Fertigung und der Vergenz ihres Objektflusses besteht eine Reihe von Beziehungen. Während die Fertigung bei allen Vergenztypen nach dem Verrichtungsprinzip organisiert werden kann, setzt eine Organisation nach dem Objektprinzip eine nicht allzu komplexe Vergenzstruktur voraus. Wenn die Stückprozesse der Endprodukte einen glatten Durchlauf bzw. lediglich konvergierende oder (programm- bzw. prozeßbedingt) divergierende Teilprozesse umfassen, kann eine Fließfertigung realisierbar sein. So trifft man Fließfertigung in der Realität häufig bei konvergierenden Stückprozessen¹, in denen von außen bezogene Teile montiert werden, und bei prozeßbedingt divergierenden Stückprozessen (z. B. Papierindustrie, Erdölindustrie, Gas- und Kokswerke²) an. Sind jedoch konvergierende und divergierende Teilprozesse mehrfach hintereinandergeschaltet, so ist die Fertigung nur schwer nach dem Objektprinzip organisierbar, weil zwischen den zusammenfließenden und sich verzweigenden Fertigungslinien zu große Abstimmungsprobleme auftreten. Die folgende Kennzeichnung der Organisationstypen im Input-Output-Ansatz geht von glatten Stückprozessen aus. Ihre Ergebnisse lassen sich aber auf konvergierende bzw. divergierende Stückprozesse übertragen.

Die Organisationstypen der Fertigung können durch die *Arbeitseinsatzmatrizen* S_{MP} bei durch maschinelle Arbeit charakterisierten bzw. S_{AP} bei durch menschliche (Hand-)Arbeit charakterisierten Produktiveinheiten abgebildet werden. Ordnet man in ihnen die Zeilen nach Werkstätten bzw. Fertigungslinien und die Spalten nach Stückprozessen, so wird aus ihnen der Durchlauf der Objekte erkennbar.

Die Durchführung eines Arbeitsganges an einem Objekt führt zur Entstehung eines Zwischen- oder Endprodukts. Im Fall der *Fließfertigung* entspricht der Folge von Arbeitsgängen und Produktarten eines Stückprozesses die Folge der zu einer Fertigungslinie gehörenden Produktiveinheiten. Deshalb erhält man für jeden auf der Fertigungslinie vollzogenen Stückprozeß als Teilmatrix von S_{MP} bzw. S_{AP} eine Einheitsmatrix. Fertigt man beispielsweise entsprechend Abbildung 13a auf Seite 106 auf einer Fertigungslinie mit drei Produktiveinheiten $m = 11, 12, 13$ zwei verschiedene Endproduktarten $p = 1$ bzw. 2 und auf einer zweiten Fertigungslinie mit sechs Produktiveinheiten $m = 21, \dots, 26$ zwei andere Endproduktarten $p = 3$ bzw. 4, so läßt sich die Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} nach Fertigungslinien und Stückprozessen in vier Einheits- und vier Nullmatrizen zerlegen³.

¹ Schäfer [Industriebetrieb 1] 197 und 203.

² Schäfer [Industriebetrieb 2] 186 und 203.

³ Große-Oetringhaus kennzeichnet die Organisationstypen der Fertigung ebenfalls durch Matrizen. Er bildet aber nur die potentiellen Übergangsbeziehungen zwischen Ma-

	p	Stückprozeß 1			Stückprozeß 2			Stückprozeß 3						Stückprozeß 4					
	n	11	12	13	21	22	23	31	32	33	34	35	36	41	42	43	44	45	46
Fertigungs- linie 1	11	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertigungs- linie 2	21	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	22	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
a) Fließfertigung																			
	p	Stückprozeß 1			Stückprozeß 2			Stückprozeß 3						Stückprozeß 4					
	n	11	12	13	21	22	23	31	32	33	34	35	36	41	42	43	44	45	46
Werkstatt 1	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	12	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Werkstatt 2	21	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	23	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Werkstatt 3	31	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	33	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	34	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
b) Werkstattfließfertigung																			
	p	Stückprozeß 1			Stückprozeß 2			Stückprozeß 3						Stückprozeß 4					
	n	11	12	13	21	22	23	31	32	33	34	35	36	41	42	43	44	45	46
Werkstatt 1	11	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Werkstatt 2	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	22	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertigungs- linie	31	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
c) Fließinselfertigung																			
	p	Stückprozeß 1			Stückprozeß 2			Stückprozeß 3						Stückprozeß 4					
	n	11	12	13	21	22	23	31	32	33	34	35	36	41	42	43	44	45	46
Werkstatt 1	11	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	12	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Werkstatt 2	21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Werkstatt 3	31	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	32	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d) Werkstattfertigung																			

 $= S_{MP}$

Abb. 13: Beispiele für die Struktur der Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} bei a) Fließfertigung, b) Werkstattfließfertigung, c) Fließinselfertigung und d) Werkstattfertigung

Dagegen bestehen bei *Werkstattfertigung* (fast) keine Übereinstimmungen zwischen den Teilmatrizen der Arbeitseinsatzmatrix für verschiedene Stückprozesse. Gliedert man die Zeilen der Arbeitseinsatzmatrix nach Werkstätten und ihre Spalten nach Stückprozessen, dann sind die Einselemente entsprechend Abbildung 13d in den meisten Teilmatrizen der Stückprozesse anders angeordnet. Daran wird deutlich, daß die Werkstätten und gegebenenfalls mehrere Produktiveinheiten innerhalb der Werkstätten bei verschiedenen Stückprozessen in unterschiedlicher Reihenfolge durchlaufen werden⁴.

Da die Zwischentypen der Werkstattfließ- sowie der Fließinselfertigung auf einer Kombination von Objekt- und Verrichtungsprinzip beruhen, weisen bei ihnen die Teilmatrizen der Stückprozesse in der Arbeitseinsatzmatrix gewisse Übereinstimmungen auf. Bei *Werkstattfließfertigung* wird die gleichartige Reihenfolge, in welcher die Werkstätten durchlaufen werden, sichtbar, wenn man auch die zu jedem Stückprozeß gehörenden Zwischen- und Endproduktarten nach ihrer Bearbeitung in den Werkstätten gliedert. Dabei zerlegt man entsprechend Abbildung 13b die Teilmatrix jedes Stückprozesses in Spalten- wie in Zeilenrichtung nach Werkstätten. Dann treten in der Teilmatrix eines Stückprozesses Einselemente stets nur in solchen Untermatrizen auf, die auf der Hauptdiagonalen der betrachteten Stückprozeßmatrix liegen. Jedoch können die Einselemente innerhalb dieser Untermatrizen abweichend vom Fall der Fließfertigung bei jedem Stückprozeß anders angeordnet sein. Ferner enthalten in der Regel nicht alle Stückprozesse dieselbe Zahl von Einselementen je Werkstatt. Deshalb sind die Teilmatrizen der Stückprozesse in der Regel keine Einheitsmatrizen.

Bei *Fließinselfertigung* ist ein Teil der Produktiveinheiten zu Werkstätten zusammengefaßt, während die anderen Produktiveinheiten eine oder mehrere Fertigungslinien bilden. Zerlegt man die Arbeitseinsatzmatrix einerseits nach den verschiedenen Werkstätten sowie Fertigungslinien und andererseits nach Stückprozessen, so ergeben sich für die auf der bzw. den Fertigungslinien durchgeführten Stückprozesse oder Teile von Stückprozessen Einheitsmatrizen. Dagegen weisen die anderen Teile dieser Stückprozesse bzw. die Stückprozesse anderer Endprodukte, welche die Werkstätten durchlaufen, keine übereinstimmende Anordnung der Einselemente auf. In dem Beispiel von Abbildung 13c werden sämtliche Arbeitsgänge der Endprodukte $p = 1$ und 2 sowie die ersten beiden Arbeitsgänge der Endprodukte $p = 3$ und 4 in zwei Werkstätten durchgeführt. Die restlichen vier Arbeitsgänge der Endprodukte $p = 3$ und $p = 4$ erfolgen auf einer Fertigungslinie mit vier Produktiveinheiten.

schninen und keine Stückprozesse ab, weshalb sich bei ihm Zeilen und Spalten auf Maschinen beziehen. Diese Kennzeichnung erscheint für den Input-Output-Ansatz unzweckmäßig. Vgl. Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 281 ff.

⁴ Für einzelne Stückprozesse können sich auch Einheitsmatrizen ergeben.

2. Abbildung der Stückprozesse

Der Stückprozeß eines Endprodukts setzt sich aus den zu seiner Herstellung durchzuführenden Verrichtungen und Arbeitsgängen zusammen. Diese können in der Bearbeitung bzw. Umwandlung einer Werkstoffart, der Vereinigung mehrerer Werkstoffarten und/oder der Aufspaltung von Werkstoffen bestehen. Maßgebend für die Abbildung der Stückprozesse ist die Tiefe ihrer Untergliederung. Aus ihr ergibt sich die Zahl und Art der unterschiedenen Operationen und Zwischenprodukte bis zur Fertigstellung des Endprodukts. Die Gliederungstiefe hängt davon ab, wie genau die Arbeitsanalyse vorgenommen wird und wie weit die Alternativen der Arbeitssynthese erfaßt werden sollen. In der Praxis wird die Gliederung der Stückprozesse vielfach von einer weithin vorgegebenen Differenzierung zwischen Arbeitsgängen bestimmt, die von der Art der verfügbaren bzw. zur Anschaffung vorgesehenen maschinellen Anlagen abhängt. Deshalb wird im folgenden vereinfachend unterstellt, daß jeder Operation ein Arbeitsgang entspricht und jede Produktiveinheit einen Arbeitsgang ausführt. Durch den Vollzug des Arbeitsganges entsteht ein neues Zwischenprodukt. Eine vertiefende Analyse der Stückprozesse durch die Zerlegung der Arbeitsgänge in Vorgangselemente ist jedoch ohne Schwierigkeiten durchführbar.

a) Analyse der Vergenz des Objektflusses

Die Vergenz des Objektflusses kennzeichnet die Beziehungen der eingesetzten bzw. hergestellten Rohstoffe, Zwischen- und Endprodukte. Sie kann in der Strukturmatrix S^* anhand der Rohstoffeinsatzmatrix S_{RP} und der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} analysiert werden. Die *Rohstoffeinsatzmatrix* gibt die direkten Beziehungen zwischen eingesetzten Rohstoffen und hergestellten Zwischen- oder Endprodukten wieder. Dagegen bildet die *Produktverflechtungsmatrix* die direkten Beziehungen unter den Zwischen- und Endprodukten der Unternehmung ab.

Die Kennzeichnung der Vergenztypen geht von dem einzelnen Arbeitsgang aus¹. Dabei ist zu analysieren, welche Arten von Werkstoffen in einem Arbeitsgang eingesetzt und erzeugt werden. Dann ergibt sich aus der Zusammensetzung aufeinanderfolgender Arbeitsgänge die Vergenz der verschiedenen Stückprozesse sowie des gesamten Produktionsprozesses.

Für den einzelnen Arbeitsgang bzw. Teilprozeß sind die unterschiedlichen Vergenztypen in Abbildung 14 auf Seite 110 einerseits an einem Graphen² und andererseits an den Teilmatrizen von S_{RP} und S_{PP} dargestellt. Der Produktions-

¹ Riebel [Erzeugungsverfahren] 56 f.

² Zur Graphentheorie vgl. König [Graphen] 1 ff.; Knödel [Methoden] 3 ff.; Müller-Merbach [Operations Research] 238 ff.

graph umfaßt Knoten für die Arbeitsgänge und Kanten für die zufließenden Ströme an Werkstoffen sowie die abfließenden Ströme an Produkten, die in anderen Arbeitsgängen wiedereingesetzt oder am Markt abgesetzt werden. Aus den Einselementen in der Spalte einer (Zwischen- oder End-)Produktart p in den Matrizen S_{RP} und S_{PP} ist ersichtlich, welche Rohstoffarten r und (anderen) Produktarten q zur Erzeugung dieser Produktart verwendet werden. Dagegen gibt die p-te Zeile in der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} an, zur Herstellung welcher Produktarten die p-te Produktart wiedereingesetzt wird³.

Da bei *glatten* Prozessen lediglich eine Werkstoffart eingesetzt und eine Produktart erzeugt wird, besitzt der Knoten eines derartigen Teilprozesses nur eine zuführende Kante. Verlangt man bei glatten Prozessen darüber hinaus, daß die erzeugte Güterart höchstens zu einer Produktart weiterverarbeitet wird⁴, führt lediglich eine Kante von diesem Knoten weg. Die Spalte der Produktart p in der Rohstoffeinsatzmatrix S_{RP} und der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} enthält genau ein positives Einselement. Die p-te Zeile von S_{PP} umfaßt höchstens⁵ ein positives Einselement (vgl. Abbildung 14a).

Im Produktionsgraphen *konvergierender* Teilprozesse führen mehrere Kanten zum Knoten hin, weil mehrere Werkstoffarten zur Herstellung einer Produktart eingesetzt werden. Dem entspricht, daß die Spalte der Produktart p in der Rohstoffeinsatzmatrix S_{RP} und der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} zusammen mindestens zwei positive Einselemente aufweist (vgl. Abbildung 14b).

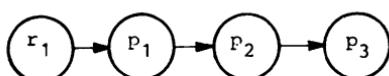
Führen von dem Knoten eines Teilprozesses mehrere Kanten weg und treten in der Zeile einer Produktart in der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} mehrere positive Einselemente auf, so wird eine Zwischenproduktart zur Erzeugung verschiedener Produktarten verwendet (vgl. Abbildung 14c). Es wird nur eine Güterart hergestellt. Jedoch wird ihre Ausbringungsmenge zum Wiedereinsatz in verschiedenartigen Teilprozessen aufgeteilt. Die Kennzeichnung dieses Typs der *programmbedingten* Divergenz ist vor allem für die Planung der Einsatzgütermengen und Lagerbestände im Zeitablauf wichtig.

Prozeßbedingte Divergenz, bei der aus einer Werkstoffart mehrere Produktarten erzeugt werden, kann im Produktionsgraphen durch eine Unterteilung des Knotens gemäß der Zahl herstellter Güterarten dargestellt werden (vgl. Abbildung 14d). Die Kante des eingesetzten Werkstoffs führt zu der als ‚Hauptprodukt‘ definierten Güterart, weil ihr die gesamte Einsatzgütermenge zugerechnet wird. Von jeder herstellten Produktart geht lediglich eine Kante aus, sofern jedes Kuppelprodukt nur in einem nachfolgenden Arbeitsgang wiederein-

³ Vgl. den ähnlichen Aufbau von Prozeßmatrizen bei Langen [Dispositionen] 14 f.

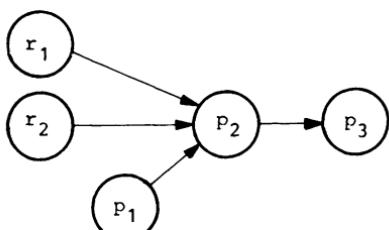
⁴ Diese Bedingung wird bei der Kennzeichnung von Vergenztypen nicht genannt, aber in Planungsmodellen mit glatten Stückprozessen in der Regel unterstellt.

⁵ Sie besteht lediglich aus Nullelementen, wenn die gesamte Herstellungsmenge abgesetzt wird. Dann enthält die p-te Zeile der „Vertriebsmatrix“ S_{PV} ein positives Einselement.



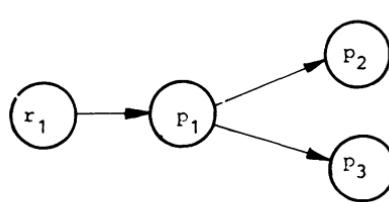
a) Glatter Teilprozeß

	P_1	P_2	P_3	\dots	P_p	
r_1	1	0	0	\dots	0	$= S_{RP}$
\vdots	⋮	⋮	⋮		⋮	
r_R	0	0	0	\dots	0	
P_1	0	1	0	\dots	0	$= S_{PP}$
P_2	0	0	1	\dots	0	
P_3	0	0	0	\dots	0	
\vdots	⋮	⋮	⋮		⋮	
P_p	0	0	0	\dots	0	



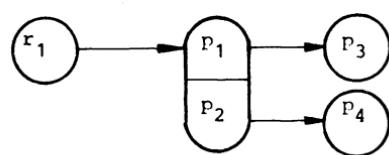
b) Konvergierender Teilprozeß

	P_1	P_2	P_3	\dots	P_p	
r_1	0	1	0	\dots	0	$= S_{RP}$
r_2	0	0	1	\dots	0	
\vdots	⋮	⋮	⋮		⋮	
r_R	0	0	0	\dots	0	
P_1	0	1	0	\dots	0	$= S_{PP}$
P_2	0	0	1	\dots	0	
P_3	0	0	0	\dots	0	
\vdots	⋮	⋮	⋮		⋮	
P_p	0	0	0	\dots	0	



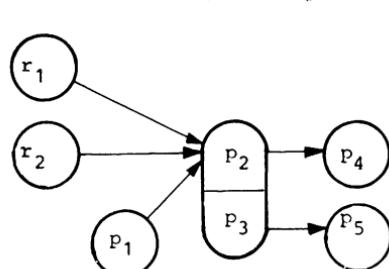
c) Programmbedingt divergierender Teilprozeß

	P_1	P_2	P_3	\dots	P_p	
r_1	1	0	0	\dots	0	$= S_{RP}$
\vdots	⋮	⋮	⋮		⋮	
r_R	0	0	0	\dots	0	
P_1	0	1	1	\dots	0	$= S_{PP}$
P_2	0	0	0	\dots	0	
P_3	0	0	0	\dots	0	
\vdots	⋮	⋮	⋮		⋮	
P_p	0	0	0	\dots	0	



d) Prozessbedingt divergierender Teilprozeß

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	\dots	P_p	
r_1	1	0	0	0	0	\dots	0	$= S_{RP}$
\vdots	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	
r_R	0	0	0	0	0	\dots	0	
P_1	0	1	0	0	0	\dots	0	$= S_{PP}$
P_2	0	0	1	0	0	\dots	0	
P_3	0	0	0	1	0	\dots	0	
P_4	0	0	0	0	1	\dots	0	
P_5	0	0	0	0	0	\dots	0	
\vdots	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	
P_p	0	0	0	0	0	\dots	0	



e) Umgruppierender Teilprozeß

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	\dots	P_p	
r_1	0	1	0	0	0	\dots	0	$= S_{RP}$
r_2	0	1	0	0	0	\dots	0	
\vdots	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	
r_R	0	0	0	0	0	\dots	0	
P_1	0	1	0	0	0	\dots	0	$= S_{PP}$
P_2	0	0	0	1	0	\dots	0	
P_3	0	-1	0	0	1	\dots	0	
P_4	0	0	0	0	0	\dots	0	
P_5	0	0	0	0	0	\dots	0	
\vdots	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	
P_p	0	0	0	0	0	\dots	0	

Abb. 14: Beispiele für Produktionsgraphen und charakteristische Zeilen und Spalten der Strukturmatrix bei verschiedenen Vergenztypen

gesetzt wird. Nach den auf Seite 60 f. formulierten Regeln für die Erfassung von Kuppelprozessen im Input-Output-Ansatz stehen in den Spalten der Nebenprodukte in der Rohstoffeinsatzmatrix S_{RP} und der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} lediglich Nullelemente. Darin kommt zum Ausdruck, daß ihnen kein Gütereinsatz zugerechnet wird. Die Spalte des Hauptprodukts in S_{RP} und S_{PP} enthält ein positives Element für die eingesetzte Werkstoffart. Darüber hinaus stehen in dieser Spalte in der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} so viele negative Einselemente, wie Nebenproduktarten anfallen.

Ein *umgruppierender Objektfluß* unterscheidet sich von der prozeßbedingten Divergenz durch den Einsatz *mehrerer* Werkstoffarten, aus denen verschiedene Produktarten erzeugt werden. Deshalb führen im Produktionsgraphen mehrere Kanten zum Hauptprodukt des Kuppelprozesses (vgl. Abbildung 14e). In der Spalte des Hauptprodukts in S_{RP} und S_{PP} treten mindestens zwei positive Einselemente auf. Wie bei prozeßbedingter Divergenz enthält diese Spalte ferner mindestens ein negatives Einselement, während die Spalten von Nebenprodukten in S_{RP} und S_{PP} nur mit Nullelementen besetzt sind.

Bei umgruppierendem Objektfluß sind Konvergenz und prozeßbedingte Divergenz in einem Teilprozeß kombiniert. Ferner kann in einem Teilprozeß ein konvergierender Werkstoffeinsatz mit einer programmbedingten Divergenz der Ausbringungsgütermenge verbunden sein. Schließlich kann auch bei der Erzeugung von Kuppelprodukten eine programmbedingte Divergenz der verschiedenenartigen Ausbringungsgüter auftreten.

Die Stückprozesse der Endprodukte können aus mehreren Teilprozessen bzw. Arbeitsgängen zusammengesetzt sein. Die Vergenz eines Stückprozesses folgt aus den Vergenztypen seiner Teilprozesse. Sofern alle Teilprozesse dieselbe Vergenz des Objektflusses aufweisen, kann der gesamte Stückprozeß als glatt, konvergierend, prozeß- bzw. programmbedingt divergierend oder umgruppierend charakterisiert werden. Dann gelten die beschriebenen Merkmale des Produktionsgraphen sowie der Rohstoffeinsatz- und Produktverflechtungsmatrix für alle zu diesem Stückprozeß gehörenden Knoten und Kanten bzw. Zeilen und Spalten. In der Realität ist ein Stückprozeß aber häufig aus Teilprozessen mit verschiedenartigen Vergenztypen aufgebaut. Aufgrund der beschriebenen Merkmale von Produktionsgraphen und Strukturmatrix kann man auch die Vergenz des Objektflusses derartiger Stückprozesse exakt abbilden und analysieren. Durch die Erfassung der Stückprozesse aller Endprodukte läßt sich die Analyse auf die Vergenz des gesamten Produktionsprozesses ausdehnen.

b) Analyse der Operationenfolgen

Wenn man die zu einem Stückprozeß gehörenden (Zwischen- und End-)Produktarten so definiert, daß mit der Durchführung eines Arbeitsganges eine neue Produktart entsteht, lassen sich die Operationenfolgen an der Produkt-

verflechtungsmatrix S_{PP} in Verbindung mit der Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} (bzw. S_{AP}) analysieren. Während die Produktverflechtungsmatrix die direkten Beziehungen unter den Produktarten erfaßt, sind aus der Arbeitseinsatzmatrix die direkten Beziehungen zwischen den Arbeitsprozessen der Produktiveinheiten sowie den von ihnen hergestellten Produktarten ersichtlich.

Aufgrund der engen Koppelung zwischen Arbeitsgängen und Produktarten ergibt sich die Zahl der Arbeitsgänge eines Stückprozesses aus der Knotenzahl im Produktionsgraphen und der Zeilen- (und Spalten)zahl seiner Teilmatrix in der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} . Sofern ein Stückprozeß keine Kuppelprozesse enthält, entspricht die Anzahl seiner Arbeitsgänge der Zeilenzahl seiner Teilmatrix in S_{PP} . Bei prozeßbedingt divergierenden Prozessen ist zu beachten, daß verschiedenartige Kuppelprodukte in einem Arbeitsgang erzeugt werden. Von der Zahl der Einselemente in der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} kann nicht auf die Zahl der Arbeitsgänge geschlossen werden, da zwischen den zu einem Stückprozeß gehörenden Produktarten eine Vielzahl von Verflechtungen bestehen kann. Jedoch ist die Teilmatrix einstufiger Stückprozesse in S_{PP} stets eine Nullmatrix.

Aus der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} ist ferner ersichtlich, welche Produktarten zur Erzeugung einer nachfolgenden Produktart eingesetzt werden müssen. Die Herstellungsprozesse der Wiedereinsatzprodukte müssen zeitlich vor dem Arbeitsgang erfolgen, in welchem sie verbraucht werden. Deshalb bildet die Produktverflechtungsmatrix auch die Reihenfolge ab, in welcher die Arbeitsgänge der zu einem Stückprozeß gehörenden Produktarten durchzuführen sind.

Ist die *Reihenfolge* der Arbeitsgänge nicht technologisch vorgegeben, dann müssen in die Produktverflechtungsmatrix anstelle der Einselemente Variablen eingeführt werden, welche die Reihenfolgealternativen angeben. Dies ist möglich mit Hilfe von binären Reihenfolgevariablen y_{ij} , die wie folgt definiert sind:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{sofern die } i\text{-te Produktart direkt zur Erzeugung der } j\text{-ten Produktart} \\ & \text{eingesetzt wird und damit } i \text{ vor } j \text{ erzeugt werden muß} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Mit diesen Reihenfolgevariablen können Nebenbedingungen formuliert werden, die sicherstellen, daß jeweils nur eine der einander ausschließenden Reihenfolgealternativen durchgeführt wird¹.

Eine *zeitliche Fixierung* bestimmter Arbeitsgänge wird nicht in der Strukturmatrix abgebildet. Sie kann im dynamischen Input-Output-Modell dadurch erfaßt werden, daß man die Werte der Zuordnungsvariablen² z_i^t für die Arbeitsgänge i vorgibt, die in bestimmten Intervallen t durchgeführt werden müssen.

¹ Vgl. Sisson [Sequencing Theory] 300; vgl. ferner zu einem entsprechenden Problem Bowman [Balancing] 386 ff.

² Zur Einführung und Definition dieser Zuordnungsvariablen vgl. Seite 99.

P	Stückprozeß 1					Stückprozeß 2				
	11	12	13	14	15	21	22	23	24	25
1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

a) Identische Reihenfolge der Operationen und Produktiveinheiten

P	Stückprozeß 1					Stückprozeß 2				
	11	12	13	14	15	21	22	23	24	25
1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

b) Unterschiedliche Reihenfolge der Operationen und Produktiveinheiten

P	Stückprozeß 1					Stückprozeß 2				
	11	12	13	14	15	21	22	23	24	25
1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

c) Konträre Reihenfolge der Operationen und Produktiveinheiten

P	Stückprozeß 1					Stückprozeß 2				
	11	12	13	14	15	21	22	23	24	25
11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
31	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
41	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
51	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

d) Identische Reihenfolge der Produktiveinheiten bei unterschiedlichen Operationen je Produktiveinheit

Abb. 15: Beispiele für den Vergleich verschiedener Stückprozesse anhand der Arbeits-einsatzmatrix S_{MP}

Auch die *Kontinuität des Objektflusses* ist nicht aus der Strukturmatrix erkennbar. Im dynamischen Input-Output-Modell kann man sie durch die explizite Einführung von Transportprozessen approximativ abbilden. Bei kontinuierlichem Objektfluß sind dann die zu einem Stückprozeß gehörenden Transportvariablen in allen Intervallen seiner Durchführung größer als Null. Die Objekte werden somit in jedem Intervall transportiert. Jedoch ist hierdurch nicht eindeutig festgelegt, daß sie auch innerhalb eines jeden Intervalls ständig bewegt werden.

In der Produktverflechtungsmatrix S_{pp} wird die Art der Operationen indirekt durch die mit ihnen jeweils erzeugten (Zwischen- oder End-)Produktarten wiedergegeben. Eine nähere Kennzeichnung der Operationen ergibt sich daraus, von welchen Produktiveinheiten sie ausgeführt werden. Dies ist aus der Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} (bzw. S_{AP}) ersichtlich. Deren Besetzung mit Einserelementen zeigt, welche Produktarten p von welchen Produktiveinheiten m (bzw. a) hergestellt werden. Sofern jede Operationsart nur von einer bestimmten Produktiveinheit vollzogen werden kann, ergibt sich aus der in S_{pp} abgebildeten Reihenfolge der Produktarten eines Stückprozesses und der in S_{MP} (bzw. S_{AP}) abgebildeten Zuordnung der Produktiveinheiten zu den Produktarten eindeutig, in welcher Reihenfolge³ die Produktiveinheiten bei jedem Stückprozeß durchlaufen werden.

Ordnet man die zu verschiedenen Stückprozessen gehörenden Produktarten jeweils in der Reihenfolge ihrer Herstellung an, so läßt sich die Übereinstimmung in den Reihenfolgen der Produktiveinheiten bei unterschiedlichen Stückprozessen anhand der Arbeitseinsatzmatrix analysieren. Aus der Besetzung der einzelnen Teilmatrizen von S_{MP} (bzw. S_{AP}) für die verschiedenen Stückprozesse ist ersichtlich, inwieweit ihre Arbeitsgänge von gleichen Produktiveinheiten ausgeführt werden und in welchem Umfang die Reihenfolgen übereinstimmen, in der die Produktiveinheiten durchlaufen werden (vgl. Abbildung 15 auf Seite 113). Der Grad an Übereinstimmung ist um so höher, je mehr positive Einserelemente bei verschiedenen Stückprozessen an denselben Stellen der Teilmatrizen von S_{MP} (bzw. S_{AP}) auftreten. Sind in einem Produktionsprozeß Mehrzweckaggregate eingesetzt, die verschiedenartige Verrichtungen an unterschiedlichen Produkten ausführen, können mehrere Stückprozesse entsprechend Abbildung 15d identische Maschinenfolgen bei nichtidentischen Operationenfolgen aufweisen.

3. Abbildung der Produktionsprogrammtypen

In dem entwickelten dynamischen Input-Output-Modell bilden die Absatzvektoren x^t das Absatzprogramm der Unternehmung ab. Das Fertigungsprogramm wird durch diejenigen Elemente der Ausbringungsvektoren r^t erfaßt,

³ Vereinfachend spricht man dabei von der „Maschinenfolge“ des Stückprozesses.

welche die Herstellungsmengen an Zwischen- und Endprodukten wiedergeben. Das Input-Output-Modell kann so umfassend formuliert werden, daß jeder zum *potentiellen* Produktionsprogramm gehörenden Absatz- bzw. Herstellungsgüterart ein Element in den Vektoren x^t bzw. r^t entspricht. Die Werte dieser Elemente kennzeichnen das *aktuelle* Produktionsprogramm. Durch sie werden im dynamischen Input-Output-Modell nicht nur die abgesetzten bzw. hergestellten Güterarten und Gütermengen, sondern auch deren zeitliche Verteilung abgebildet.

Die Zusammensetzung des *Absatzprogramms* läßt sich durch eine Analyse der Absatzvektoren x^t charakterisieren. Geht man davon aus, daß die Güter stets im Rahmen von Vertriebsprozessen abgesetzt werden, so sind die Absatzmengen x_{ij}^t lediglich bei Vertriebsprozessen größer als Null. Maßgebend für die Gliederung des Absatzprogramms in Teilprogramme ist vor allem, von welchen Prozeßarten Güter an die Vertriebsprozesse für eine Verwertung am Markt weitergegeben werden. Die direkten Beziehungen zwischen den Prozessen zur Bereitstellung menschlicher Arbeit (A), maschineller Arbeit (M), zur Beschaffung von Rohstoffen (R) sowie Betriebsstoffen (B), zur Eigenerzeugung von Betriebsstoffen (C), den Umrüstprozessen (U) sowie den Herstellungsprozessen der Produkte (P) einerseits und den Vertriebsprozessen (V) andererseits werden in der letzten Spalte der zerlegten Strukturmatrix auf Seite 64 durch die Teilmatrizen S_{AV} bis S_{PV} wiedergegeben.

Das Absatzprogramm einer Unternehmung läßt sich nach der Art der Verwertung am Markt in ein Verkaufs- und in Vermietprogramme gliedern¹. Das Verkaufsprogramm industrieller Unternehmungen kann insbesondere Fertig- und Zwischenprodukte sowie Handelswaren umfassen². Vermieten kann eine Unternehmung die von ihr beschafften bzw. erzeugten stofflichen Güter sowie die Leistungsabgaben ihrer Potentialgüter. Sofern stoffliche Güter vermietet werden, sind für jede Güterart, die sowohl verkauft als auch vermietet werden kann, zwei verschiedene Absatzvariablen einzuführen³.

Aus der Besetzung der Teilmatrizen S_{CV} und S_{PV} ist ersichtlich, welche in der Unternehmung erzeugten Betriebsstoffe und Produktarten am Markt abgesetzt werden (können). Insbesondere ergibt sich aus S_{PV} , inwieweit das Absatzprogramm neben Fertigprodukten auch Zwischenprodukte als Halbfabrikate oder Ersatzteile umfaßt. Das Handelswarenprogramm wird durch die Teilmatrizen S_{RV} und S_{BV} artmäßig gekennzeichnet. Diese geben an, welche von außen bezogenen Roh- und Betriebsstoffe ohne fertigungstechnische Bearbeitung verkauft oder vermietet werden.

¹ Chmielewicz [Erfolgsrechnung] 135 ff.

² Vgl. Schweitzer [Kostentheorie] 23 ff.

³ Die Vermietung von Gütern kann entsprechend den Vorschlägen von Chmielewicz in den Ansatz eingeführt werden. Dabei ist zu beachten, daß vermietete Güterbestände lediglich in den Intervallen ihrer Vermietung nicht verfügbar sind. Vgl. Chmielewicz [Erfolgsrechnung] 125 und 138 ff.

Das *Fertigungsprogramm* lässt sich vor allem durch die Anzahl hergestellter Produktarten und die Übereinstimmung zwischen den Produkten näher charakterisieren. Die Zahl der herstellbaren Zwischen- und Endproduktarten entspricht der Anzahl von Elementen der Ausbringungsvektoren r^l , die sich auf Produkte beziehen. Gliedert man diese Vektoren nach Stückprozessen, so ist aus ihnen darüber hinaus die Zahl herstellbarer Endprodukte erkennbar. Übereinstimmungen in den qualitativen Eigenschaften der Produkte werden im Input-Output-Modell, das den Fluß der Gütermengen abbildet, nur indirekt durch die Art der Differenzierung zwischen Güterarten erfaßt. Jedoch besteht in der Regel ein enger Zusammenhang zwischen der Übereinstimmung in den qualitativen Eigenschaften der Produkte und in der Struktur ihrer Stückprozesse. Ferner ist die Übereinstimmung der Stückprozesse vielfach für die Strukturierung des Fertigungsprozesses maßgebend⁴.

Übereinstimmungen zwischen den Stückprozessen verschiedenartiger Endprodukte können bei den einzusetzenden Roh- (und Hilfs-)Stoffen, der Vergenz des Objektflusses sowie den Operationenfolgen bestehen. Aus der Rohstoffeinsatzmatrix S_{RP} ist ersichtlich, in welchem Umfang verschiedene Produkte aus denselben Roh- (und Hilfs-) Stoffarten gefertigt werden. Des weiteren kann anhand der Rohstoffeinsatzmatrix S_{RP} und der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} analysiert werden, inwieweit verschiedene Stückprozesse gleichartige Vergenztypen aufweisen. Bei konvergierendem Objektfluß enthält das Fertigungsprogramm mehrteilige Produkte, während bei programmbedingter Divergenz eine produktmäßige Verflechtung zwischen den Stückprozessen verschiedenartiger Endprodukte vorliegt. Der Grad an Übereinstimmung zwischen den Operationenfolgen unterschiedlicher Stückprozesse ist um so größer, je mehr sie gleiche Produktiveinheiten beanspruchen, je mehr gleichartige Verrichtungen in ihnen durchzuführen sind und je geringere Abweichungen in den Reihenfolgen der Produktiveinheiten je Stückprozeß auftreten. Die Ausprägung dieser Merkmale wird aus der Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} (bzw. S_{AP}) ersichtlich.

Die *Losgrößen* werden in dem auf Produktionsmengen basierenden Input-Output-Modell lediglich indirekt abgebildet. Wenn in jedem Intervall von jeder Produktiveinheit höchstens eine Produktart erzeugt wird, ergibt sich die Losgröße als Summe der Ausbringungsmengen einer Güterart, die in unmittelbar aufeinanderfolgenden Intervallen von derselben Produktiveinheit hergestellt werden.

Nach der Übereinstimmung zwischen den Produkten bzw. ihren Stückprozessen unterscheidet man vor allem die Fertigungsprogrammtypen der Einzel-, Serien-, Sorten- und Massenfertigung. Bei *Einzelfertigung* wird derselbe Stückprozeß innerhalb eines Betrachtungszeitraums überhaupt nicht oder nur nach verhältnismäßig langer Unterbrechungsdauer wiederholt⁵. Deshalb ist bei Ein-

⁴ Opitz [Teilefamilienfertigung] 101.

⁵ Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 152.

zelprodukten lediglich in einem bzw. in wenigen, nicht aufeinanderfolgenden Intervallen eine positive Herstellungsmenge r_i^t gegeben, die nur eine (oder sehr wenige) Einheit(en) umfaßt.

Gehen in verschiedenartige Einzelprodukte gleichartige Zwischenprodukte ein, so können diese als Einzelteile oder Baugruppen häufig in kleinen oder größeren Serien hergestellt werden, während von den Endprodukten jeweils eine Einheit gefertigt wird⁶. Ferner können die in unterschiedliche Endprodukte eingesetzten Teile trotz verschiedenartiger stofflicher Beschaffenheit ein hohes Maß an Übereinstimmung in ihren Operationenfolgen aufweisen. Dann lassen sich mehrere Zwischenproduktarten als eine ‚Teilefamilie‘ zu einem Los zusammenfassen⁷.

In einem aus *Serienprodukten* zusammengesetzten Fertigungsprogramm sind die Stückprozesse der zu einer Serie gehörenden Produkte identisch. Dagegen besteht zwischen den Stückprozessen von Produkten verschiedener Serien in der Regel nur ein begrenztes Maß an Übereinstimmung. Diese Übereinstimmung bezieht sich in erster Linie darauf, daß verschiedene Serien teilweise von denselben Produktiveinheiten bearbeitet werden. Die Art der an ihnen auszuführenden Operationen und insbesondere deren Reihenfolgen weisen meist große Unterschiede auf. Nach der Auflagenhöhe differenziert man zwischen Klein- und Großserienfertigung.

Da bei Kleinserienfertigung nur wenige Einheiten je Produktart erzeugt werden, kommt sie vielfach der Einzelfertigung sehr nahe. Wie bei Einzelfertigung sind die Produktiveinheiten zwischen der Bearbeitung verschiedener Serien in der Regel umzurüsten. Bei Kleinserien treten die Rüstprozesse viel zahlreicher als bei Großserien auf.

Sukzessiv⁸ hergestellte Produktarten mit einem hohen Grad an Übereinstimmung bezeichnet man als unterschiedliche Sorten eines Gutes oder als *Sortenprodukte*. Durch eine Analyse der Teilmatrizen ihrer Stückprozesse in der Rohstoffeinsatzmatrix S_{RP} , der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} und der Arbeits-einsatzmatrix S_{MP} (bzw. S_{AP}) wird deutlich, in welchem Umfang sie aus denselben Rohstoffen erzeugt werden sowie gleichartige Vergenztypen und identische Operationenfolgen besitzen. Die Auflagen sind bei Sortenfertigung im allgemeinen verhältnismäßig groß⁹. Deshalb ist die Zahl der Umrüstungen während des Betrachtungszeitraums begrenzt. Aufgrund des hohen Verwandtschaftsgrades der Sortenprodukte werden die Produktiveinheiten „... in einem bestimmten, relativ, geringen, Maß umgerüstet“¹⁰. Die Rüstzeiten sind vielfach reihenfolgeabhängig.

⁶ Schäfer [Industriebetrieb 1] 74.

⁷ Opitz [Teilefamilienfertigung] 101 ff.

⁸ Auf diese Merkmale weist Große-Oetringhaus besonders hin. Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 131.

⁹ Schäfer [Industriebetrieb 1] 63 ff.

¹⁰ Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 130 f.

Charakteristisches Merkmal der *Massenfertigung* ist eine unbegrenzte Auflagenhöhe¹¹. Die Produktiveinheiten werden nur zur Herstellung einer Produktart eingesetzt. Deshalb sind keine Umrüstungen vorzunehmen. Fertigt die Unternehmung eine Endproduktart, so beziehen sich die Rohstoffeinsatz-, die Produktverflechtungs- und die Arbeitseinsatzmatrix lediglich auf einen Stückprozeß. Werden mehrere Produktarten in Massenfertigung hergestellt, so sind deren Stückprozesse weithin unabhängig voneinander. Jede Produktart wird auf eigenen Produktiveinheiten erzeugt. Die Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} (bzw. S_{AP}) und die Produktverflechtungsmatrix S_{PP} zeigen an, daß die Produktiveinheiten und die Zwischenprodukte verschiedener Massenprodukte nicht miteinander verbunden sind¹².

Die Kennzeichnung der Fertigungsprogrammtypen geht in der Regel von den Stückprozessen und Auflagenhöhen der Endprodukte aus. Untersucht man die Übereinstimmung der Stückprozesse und die Auflagenhöhen auch für einzelne Zwischenprodukte, so lassen sich verfeinerte Programmtypen herausarbeiten. Beispielsweise können Übereinstimmungen in den eingesetzten Rohstoff- oder Zwischenproduktarten, den beanspruchten Produktiveinheiten und/oder den Reihenfolgen der Operationen lediglich bei einzelnen Teilen der Stückprozesse vorliegen. Diese Übereinstimmungen lassen sich anhand der Rohstoffeinsatzmatrix S_{RP} , der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} und der Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} (bzw. S_{AP}) aufzeigen. Deshalb stellt der Input-Output-Ansatz ein äußerst fruchtbare Instrument zur Analyse der Übereinstimmung zwischen den Stückprozessen verschiedenartiger Produkte dar.

4. Abbildung der Leistungsbestimmung, der Arbeitsverteilung und der Gangfolgen

Die *Leistung* der Produktiveinheiten wird durch die Koeffizienten der Intensität bzw. der Produktionsgeschwindigkeit in den Transformationsfunktionen abgebildet. Im Anschluß an Kilger¹ kann man von der Hypothese ausgehen, daß eine Produktiveinheit m zur Erzeugung einer Einheit der Produktart p ξ_{pm} Verrichtungen ausführen muß. Fertigt sie bei einem Intensitätsgrad δ_m diese Produktart d_{pm} Zeiteinheiten lang, so besteht zwischen dem Intensitätsgrad und der erzeugten Produktmenge r_p die in B.60 angegebene proportionale Beziehung:

$$\delta_m = \frac{\xi_{pm}}{d_{pm}} \cdot r_p \quad (B.60)$$

¹¹ Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 153.

¹² Jedoch können dieselben Rohstoffarten in verschiedene Massenprodukte eingesetzt werden. Dies ist dann aus der Rohstoffeinsatzmatrix S_{RP} ersichtlich.

¹ Kilger [Produktionstheorie] 65.

Aus B.60 lässt sich die hierbei realisierte Produktionsgeschwindigkeit ρ_{pm} , die als Anzahl der je Zeiteinheit hergestellten Produkteinheiten definiert ist, entsprechend der Gleichung B.61 bestimmen:

$$\rho_{pm} = \frac{r_p}{d_{pm}} = \frac{\delta_m}{\xi_{pm}} \quad (\text{B.61})$$

Wenn die Intensitäten der Produktiveinheiten variierbar sind, erfolgt die Leistungsbestimmung durch die Festlegung ihres jeweiligen Intensitätsgrades bzw. ihrer Produktionsgeschwindigkeit.

Legt man im Input-Output-Ansatz eine vorgegebene Gliederung der Stückprozesse in einzelne Teilprozesse zugrunde, so besteht die *Arbeitsverteilung* in der Zuordnung dieser Teilprozesse zu den Produktiveinheiten². Sofern jede Verrichtungsart nur von einer Produktiveinheit durchgeführt werden kann, ist mit der Entscheidung über das aktuelle Produktionsprogramm bei gegebenen Stückprozessen auch die Arbeitsverteilung eindeutig bestimmt. Ist dagegen dieselbe Verrichtungsart von mehreren Produktiveinheiten durchführbar, so bildet die Arbeitsverteilung einen zusätzlichen Strukturierungstatbestand. Alternativen der Arbeitsverteilung lassen sich durch binäre Zuordnungsvariablen z_{pm} (bzw. z_{pa}) erfassen, die wie folgt definiert werden:

$$z_{pm} \text{ (bzw. } z_{pa}) = \begin{cases} 1, & \text{sofern die p-te (Zwischen- oder End-) Produktart} \\ & \text{von der Produktiveinheit m (bzw. a) bearbeitet wird} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Setzt man diese Zuordnungsvariablen in die Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} (bzw. S_{AP}) ein, so sind aus ihr auch die Alternativen der Arbeitsverteilung bei jeder Produktart ersichtlich. Mit diesen Zuordnungsvariablen lassen sich Nebenbedingungen formulieren, durch die festgelegt wird, daß jeweils nur eine der einander ausschließenden Alternativen der Arbeitsverteilung realisierbar ist³. Entsprechende Variablen der Arbeitsverteilung können auch für Beschaffungs- und Vertriebsprozesse eingeführt werden.

Die *Gangfolgen* der Produktiveinheiten lassen sich im dynamischen Input-Output-Modell durch eine Erweiterung der Zuordnungsvariablen erfassen. Diese werden auf die Zeitintervalle bezogen⁴. Die Zuordnungsvariable z_{pm}^t (bzw. z_{pa}^t) nimmt lediglich dann den Wert Eins an, wenn die Produktart p im Intervall t von der m-ten Produktiveinheit erzeugt wird. In allen anderen Fällen ist ihr Wert Null. Also gilt:

² Vgl. Sankaran [Zuordnungsproblem] 243 ff.

³ Zur Formulierung entsprechender Nebenbedingungen vgl. Abschnitt C.II.

⁴ Derartige Zuordnungsvariablen werden eingeführt bei Bowman [Problem] 622; Adam [Ablaufplanung] 238; Dinkelbach [Produktionsplanung] 59 f. Vgl. auch Seite 147.

$$z_{pm}^t \text{ (bzw. } z_{pa}^t) = \begin{cases} 1, & \text{sofern die p-te (Zwischen- oder End-) Produktart im Intervall t von der Produktiveinheit m (bzw. a) bearbeitet wird} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Sofern jede Produktiveinheit in jedem Intervall höchstens eine Produktart bearbeiten kann, ergeben sich die Gangfolgen aus den Werten dieser Zuordnungsvariablen. Die Gangfolge der m-ten Produktiveinheit ist daraus ersichtlich, für welche Produktarten p ihre Zuordnungsvariablen z_{pm}^t in aufeinanderfolgenden Intervallen t gleich Eins sind. Zum Beispiel bedeutet

$$z_{4m}^1 = z_{4m}^2 = z_{8m}^3 = z_{6m}^4 = z_{6m}^5 = z_{6m}^6 = 1$$

dass die Produktiveinheit m in den ersten beiden Intervallen die vierte, im dritten Intervall die achte und in den Intervallen vier bis sechs die sechste Produktart erzeugt. Die Zahl der in den einzelnen Intervallen vollzogenen Arbeitsgänge folgt aus den Herstellungsmengen je Intervall.

Die intervallbezogenen Zuordnungsvariablen z_{pm}^t (bzw. z_{pa}^t) lassen sich in die Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} (bzw. S_{AP}) des dynamischen Input-Output-Modells für jedes Intervall einsetzen. Durch die Bestimmung ihrer Werte werden in Verbindung mit der Entscheidung über die Herstellungsmengen je Intervall nicht nur die Gangfolgen, sondern auch die Arbeitsverteilung, die zeitliche Anordnung der Arbeitsgänge und die Losgrößen festgelegt.

C. Die Erfassung von Interdependenzen zwischen produktions-theoretischen und organisatorischen Tatbeständen in Produktionsmodellen bei konstanter Struktur der Produktiveinheiten

Die in Abschnitt B gekennzeichneten Strukturmerkmale von Produktionsprozessen und ihre Abbildung im entwickelten dynamischen Input-Output-Modell bilden die Grundlage zur Analyse von Interdependenzen zwischen produktions-theoretischen und organisatorischen Tatbeständen. Abschnitt C analysiert die Interdependenzen zwischen den Strukturierungstatbeständen des Produktionsvollzugs. Die Zahl der verfügbaren Arbeitskräfte und maschinellen Anlagen, ihre gegenseitige Zuordnung zu Produktiveinheiten und ihre qualitative sowie quantitative Leistungsfähigkeit werden als gegeben und konstant angenommen. Die Bedeutung einer Aufhebung dieser Prämissen für die Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und der Organisation des Produktionsprozesses wird im nachfolgenden Abschnitt D untersucht.

I. Abbildung der Interdependenzen zwischen Produktionsprogramm und Produktionsablauf in Produktionszeitenmodellen

Bei der grundsätzlichen Kennzeichnung dynamischer Produktionsmodelle¹ ist die Möglichkeit angedeutet worden, die Zeitdimension in Modellen zu erfassen, deren wichtigste Variablen Zeit- statt Mengengrößen sind. Derartige Modelle werden in der Regel für die isolierte Ablaufplanung vorgeschlagen². Deshalb erscheint vor der weiteren Analyse des dynamischen Input-Output-Modells die allgemeine Kennzeichnung und Analyse eines „Produktionszeitenmodells“ angebracht. An den Grenzen seiner Aussagefähigkeit lässt sich begründen, warum der entwickelte dynamische Input-Output-Ansatz eines „Produktionsmengenmodells“ eine größere Zahl organisatorischer Tatbestände erfassen kann.

¹ Vgl. Seite 79 ff.

² Vgl. zum Überblick Kern [Optimierungsverfahren] 117 ff.; Hoss [Fertigungsablaufplanung] 92 ff.; Conway/Maxwell/Miller [Scheduling] 9 ff.; Müller-Merbach [Reihenfolgen] 172 ff.; Schweitzer [Probleme] 48 ff.; Siegel [Maschinenbelegungsplanung] 62 ff.; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 40 ff.

1. Abhängigkeit der Warte- und Leerzeiten von Operationen- und Gangfolgen im nichtlinearen Produktionszeitenmodell

Das im folgenden entwickelte Produktionszeitenmodell basiert auf Elementen eines von A. S. *Manne*¹ vorgeschlagenen Ansatzes. Zentraler Untersuchungsgegenstand ist die Herausarbeitung der Beziehungen zwischen den Strukturierungstatbeständen des Produktionsvollzugs und weniger die einfache numerische Lösbarkeit des Modells. Daher werden im Unterschied zu *Manne* nicht nur die Wartezeiten der Aufträge, sondern auch die Leerzeiten der Produktiveinheiten simultan erfaßt.

Wie in dem Modell von *Manne* werden glatte Stückprozesse vorausgesetzt, deren Operationenfolgen gegeben sind². Ferner wird vorerst³ angenommen, daß die in einem Betrachtungs- oder Planungszeitraum herzustellenden Güterarten und -mengen, die Zahl der Aufträge bzw. Lose je Produktart und damit die Losgrößen feststehen. Im Betrachtungszeitraum ist also eine bestimmte Zahl von Aufträgen mit vorgegebenen Produktmengen zu bearbeiten. Die Arbeitsverteilung liegt ebenfalls fest. Die Fertigung kann bei allen Aufträgen und Produktiveinheiten mit Beginn des Betrachtungszeitraums aufgenommen werden. Des weiteren wird unterstellt, daß jede Produktiveinheit in jedem Zeitpunkt höchstens einen Auftrag bearbeiten kann. Die zu einem Auftrag gehörenden Produkte dürfen nicht gleichzeitig in mehreren Produktiveinheiten bearbeitet werden. Es liegt somit geschlossene Produktion vor. „Jede begonnene Bearbeitung eines Auftrages wird ohne Unterbrechung zu Ende geführt“⁴. Darüber hinaus wird jede Produktiveinheit mit einer vorgegebenen Intensität eingesetzt. Deshalb sind die Fertigungszeiten je Stück gegeben. Schließlich wird vorausgesetzt, daß keine Maschinenstörungen auftreten und die Lagerkapazität nicht begrenzt ist.

Bei glatten Stückprozessen kann für alle zur Erzeugung einer Endproduktart durchzuführenden Arbeitsgänge ein Auftrag definiert werden. Aus Vereinfachungsgründen wird vorerst davon ausgegangen, daß die vorgegebene Bearbeitungsdauer eines Auftrags in einer Produktiveinheit neben den Fertigungszeiten der Produkte eine reihenfolgeunabhängige Rüstzeit und die Transportzeit zur nächsten Produktiveinheit einschließt⁵.

¹ *Manne* [Scheduling Problem] 219 ff. Vgl. zu diesem Ansatz Hoss [Fertigungsablaufplanung] 128 ff. und 220; Mensch [Ablaufplanung] 148 ff.; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 43 ff. Einen ähnlichen Ansatz hat Wagner entwickelt. Wagner [Machine Scheduling] 132 ff.

² Zur Kennzeichnung dieser Prämissen, die sehr vielen Modellen der Ablaufplanung zugrunde liegen, vgl. Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 16 ff.; Siegel [Maschinenbelegungsplanung] 59 ff.

³ Zur Aufhebung dieser Annahme vgl. Seite 133 ff.

⁴ Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 17.

⁵ Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 17.

In Produktionszeitenmodellen mit vorgegebenen Aufträgen können die Gangfolgen durch auftragsfolgebezogene Reihenfolgevariablen erfaßt werden⁶. Diese geben an, in welcher Reihenfolge die Aufträge p bzw. q = 1, ..., P von den Produktiveinheiten m = 1, ..., M bearbeitet werden. Um die Beziehungen zwischen den Wartezeiten der Aufträge und den Leerzeiten der Produktiveinheiten abzubilden, werden die Reihenfolgevariablen y_m^{qp} wie folgt definiert⁷:

$$y_m^{qp} = \begin{cases} 1, & \text{sofern der } p\text{-te Auftrag von der } m\text{-ten Produktiveinheit} \\ & \text{unmittelbar nach dem } q\text{-ten Auftrag bearbeitet wird} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Im Unterschied zu dem Modell von *Manne*⁸ nimmt die binäre Variable y_m^{qp} den Wert Eins nur an, wenn Auftrag p der *direkte* Nachfolger von Auftrag q ist. Ein charakteristisches Merkmal der Produktionszeitenmodelle besteht darin, daß ihre Variablen auftragsbezogen definiert sind. Deshalb werden in dieser Arbeit die Indices p und q, welche die Aufträge oder Produktarten bezeichnen, bei *Produktionszeitenmodellen* hochgestellt.

Für den Auftrag p, der zu Beginn des Betrachtungszeitraums als erster Auftrag von der Produktiveinheit m bearbeitet wird, ist:

$$y_m^{pp} = 1 \quad (C.1)$$

Bei allen Aufträgen p, die nicht von der Produktiveinheit m bearbeitet werden, gibt man für die Reihenfolgevariablen y_m^{qp} , y_m^{pp} und y_m^{pq} die Werte Null vor. Jeder Auftrag, der im Betrachtungszeitraum auf der Produktiveinheit m zu fertigen ist, wird entweder als erster bearbeitet oder hat genau einen von sämtlichen p bzw. q = 1, ..., P Aufträgen zum direkten Vorgänger. Deshalb gelten für die Teilmenge P_m der auf m zu bearbeitenden Aufträge die Nebenbedingungen C.2:

$$\sum_{q=1}^P y_m^{qp} = 1 \quad \text{für alle } p \in P_m \text{ und alle } m \quad (C.2)$$

An keiner Produktiveinheit dürfen zyklische Gangfolgen auftreten. Daher müssen für die insgesamt P_m von m zu bearbeitenden Aufträge Zyklusbedingungen der Art C.3 eingehalten werden⁹:

⁶ Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 40.

⁷ In gleicher Weise werden die Reihenfolgevariablen definiert bei Schweitzer [Termierung] 50.

⁸ Manne [Scheduling Problem] 220.

⁹ Müller-Merbach [Reihenfolgen] 70.

$$\begin{aligned}
 y_m^{pq} + y_m^{qp} &\leq 1 \\
 y_m^{pq} + y_m^{qr} + y_m^{rp} &\leq 2 && \text{für alle } p, P_m \\
 \cdot &\cdot &\cdot & \\
 \cdot &\cdot &\cdot & \\
 y_m^{pq} + y_m^{qr} + y_m^{rs} + \dots + y_m^{\bar{P}_m p} &\leq \bar{P}_m - 1 && \text{und alle } m
 \end{aligned} \tag{C.3}$$

Das hier entwickelte Produktionszeitenmodell basiert auf Grundgleichungen für die Warte- oder Lagerzeiten der Aufträge vor den Produktiveinheiten. Die Wartezeit w_m^p eines Auftrags p vor einer Produktiveinheit m ergibt sich aus folgenden vier Größen:

1. Der Ankunftszeit des Auftrags p vor der Produktiveinheit m , die aus seinen Bearbeitungs- und Wartezeiten in vorhergehenden Arbeitsgängen zusammengesetzt ist.
2. Der Gangfolge von m .
3. Der Fertigstellungszeit des unmittelbaren Vorgängers von p in m . Sie lässt sich aus den Bearbeitungs- und Wartezeiten dieses Vorgängers in m sowie in dessen vorausgehenden Arbeitsgängen ermitteln.
4. Der Leerzeit v_m^p von Produktiveinheit m vor der Bearbeitung von Auftrag p .

Jede Produktiveinheit, von der ein Auftrag bearbeitet wird, steht an einer bestimmten Position ihrer Operationenfolge. Sofern nicht alle Aufträge die Produktiveinheiten in derselben Reihenfolge durchlaufen, nimmt eine Produktiveinheit m bei verschiedenen Aufträgen unterschiedliche Positionen in deren Operationenfolgen ein. Die Position innerhalb der Operationenfolge eines Auftrags kann durch einen (Folge-)Index f angegeben werden. Bei vorgegebenen Operationenfolgen je Auftrag und gegebener Arbeitsverteilung ist jeder Operation f eines Auftrags p eine bestimmte Produktiveinheit m eindeutig zugeordnet¹⁰. Der Index m_f^p bezeichnet die Produktiveinheit, an welcher die f -te Operation des Auftrags p durchgeführt wird. Dagegen gibt der Index f_m^p an, welche Stelle die m -te Produktiveinheit in der Operationenfolge des Auftrags p einnimmt. Die Wartezeit eines Auftrags p vor der Produktiveinheit m wird durch die Wartezeitvariable w_m^p wiedergegeben, während d_m^p die vorgegebene Bearbeitungsdauer von Auftrag p in Produktiveinheit m bezeichnet. Für die Wartezeit w_m^p eines jeden Auftrags p vor jeder Produktiveinheit m lässt sich dann die Grundgleichung C.4 aufstellen:

¹⁰ Zu verschiedenen gebräuchlichen Bezeichnungstechniken vgl. Sisson [Sequencing Theory] 299; Hoss [Fertigungsablaufplanung] 47 ff.; Conway/Maxwell/Miller [Scheduling] 25; Ashour [Sequencing Theory] 14 ff.; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 20.

I. Interdependenzen zwischen Produktionsprogramm und Produktionsablauf 125

$$w_m^p = v_m^{1p} \cdot \sum_{f=1}^{f_m^1} (v_m^1 + d_m^1) + v_m^{2p} \cdot \sum_{f=1}^{f_m^2} (v_m^2 + d_m^2) + \dots + v_m^{pp} \cdot \sum_{f=1}^{f_m^p} (v_m^p + d_m^p)$$

$$= \sum_{f=1}^{f_m^{p-1}} (v_m^p + d_m^p) + v_m^p \quad \text{für alle } p, m \quad (C.4)$$

Da bei jeder Gangfolgealternative genau eine der Reihenfolgevariablen y_m^{qp} ungleich Null ist, besagt die Gleichung C.4, daß die Wartezeit w_m^p aus der Durchlaufzeit des unmittelbaren Vorgängers von Auftrag p, der Durchlaufzeit von Auftrag p bis vor die Produktiveinheit m und der Leerzeit von Produktiveinheit m vor der Bearbeitung von Auftrag p ermittelt wird¹¹.

Das System aus den Gleichungen C.4 für alle p bzw. $q = 1, \dots, P$ Aufträge und alle Produktiveinheiten m bzw. $n = 1, \dots, M$ bildet die Gesamtheit der Beziehungen zwischen den vorgegebenen Fertigungszeiten sowie Operationenfolgen je Auftrag und den festzulegenden Gangfolgen, Warte- und Leerzeiten ab.

Die Struktur des aus den Gleichungen C.4 gebildeten Gleichungssystems wird zuerst für den Fall identischer Reihenfolgen der Produktiveinheiten bei allen Stückprozessen analysiert. In diesem Fall können die Produktiveinheiten entsprechend den Operationenfolgen durchnumeriert werden, so daß für jeden Stückprozeß und jede Operation $m^p = f_m^p$ gilt. Bei M Produktiveinheiten $m = 1, \dots, M$ und P Aufträgen p bzw. $q = 1, \dots, P$ ergibt sich das aus den Gleichungen C.4 formierte Gleichungssystem C.5a auf Seite 126.

Der Aufbau dieses Gleichungssystems wird in Matrixschreibweise klarer ersichtlich. Dabei werden die Wartezeiten zu den Vektoren $w'_m = (w_m^1, w_m^2, \dots, w_m^P)$, die Fertigungszeiten je Auftrag zu den Vektoren $d'_m = (d_m^1, d_m^2, \dots, d_m^P)$ und die Leerzeiten zu den Vektoren $v'_m = (v_m^1, v_m^2, \dots, v_m^P)$ zusammengefaßt. Ferner kann man aus den Reihenfolgevariablen y_m^{qp} jeder Produktiveinheit m die Gangfolgenmatrix

$$y_m = \begin{bmatrix} 0 & y_m^{21} & y_m^{31} & \dots & y_m^{P1} \\ y_m^{12} & 0 & y_m^{32} & \dots & y_m^{P2} \\ y_m^{13} & y_m^{23} & 0 & \dots & y_m^{P3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_m^{1P} & y_m^{2P} & y_m^{3P} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

bilden. In ihr ist berücksichtigt, daß für $y_m^{pp} = 1$ keine Wartezeiten entstehen. Sie enthält also nur die Gangfolgealternativen zwischen verschiedenen Aufträgen. In Matrixschreibweise lautet das Gleichungssystem C.5:

¹¹ Die Leerzeitvariable v_m^p stellt eine Schlupfvariable dar.

$$\begin{array}{ll}
w_1^1 = Y_1^{11} \cdot O & +y_1^{21} \cdot (w_1^2 + d_1^2) + \dots + y_1^{P1} \cdot (w_1^P + d_1^P) \\
w_1^2 = Y_1^{12} \cdot (w_1^1 + d_1^1) + y_1^{22} \cdot O & +y_1^{P2} \cdot (w_1^P + d_1^P) \\
\vdots & \vdots \\
w_1^P = Y_1^{1P} \cdot (w_1^1 + d_1^1) + y_1^{2P} \cdot (w_1^2 + d_1^2) + \dots + y_1^{PP} \cdot O & +v_1^P \\
\\
w_2^1 = Y_2^{11} \cdot O & +y_2^{21} \cdot (w_2^2 + w_1^2 + d_2^2) + \dots + y_2^{P1} \cdot (w_2^P + d_1^P + w_1^P + d_2^P) - (w_1^1 + d_1^1) \\
w_2^2 = Y_2^{12} \cdot (w_1^1 + d_1^1 + w_2^1 + d_2^1) + y_2^{22} \cdot O & +y_2^{P2} \cdot (w_2^P + d_1^P + w_1^P + d_2^P) - (w_1^2 + d_2^2) \\
\vdots & \vdots \\
w_2^P = Y_2^{1P} \cdot (w_1^1 + d_1^1 + w_2^1 + d_2^1) + y_2^{2P} \cdot (w_2^2 + w_1^2 + d_2^2) + \dots + y_2^{PP} \cdot O & - (w_1^P + d_2^P) \\
\\
w_N^1 = Y_N^{11} \cdot O & \vdots \\
w_N^2 = Y_N^{12} \cdot (w_1^1 + d_1^1 + \dots + w_N^1 + d_N^1) + y_N^{22} \cdot O & \vdots \\
\vdots & \vdots \\
w_N^P = Y_N^{1P} \cdot (w_1^1 + d_1^1 + \dots + w_N^1 + d_N^1) + y_N^{2P} \cdot (w_2^2 + w_1^2 + d_2^2) + \dots + y_N^{PP} \cdot O & \vdots \\
\\
\vdots & \vdots \\
w_N^1 = Y_N^{11} \cdot O & +y_N^{21} \cdot (w_N^2 + d_1^2 + \dots + w_N^P + d_N^P) + \dots + y_N^{P1} \cdot (w_N^P + d_1^P + \dots + w_N^P + d_N^P) - (w_N^1 + d_1^1 + \dots + w_N^1 + d_N^1) + v_N^1 \\
w_N^2 = Y_N^{12} \cdot (w_1^1 + d_1^1 + \dots + w_N^1 + d_N^1) + y_N^{22} \cdot O & +y_N^{P2} \cdot (w_N^P + d_1^P + \dots + w_N^P + d_N^P) - (w_N^2 + d_2^2 + \dots + w_N^P + d_N^2) + v_N^2 \\
\vdots & \vdots \\
w_N^P = Y_N^{1P} \cdot (w_1^1 + d_1^1 + \dots + w_N^1 + d_N^1) + y_N^{2P} \cdot (w_2^2 + w_1^2 + d_2^2) + \dots + y_N^{PP} \cdot O & - (w_N^P + d_1^P + \dots + w_N^P + d_N^P) + v_N^P
\end{array}
\quad (C.5a)$$

I. Interdependenzen zwischen Produktionsprogramm und Produktionsablauf 127

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_{M-1} \\ w_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ y_2 & y_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y_{M-1} & y_{M-1} & \dots & y_{M-1} & 0 \\ y_M & y_M & \dots & y_M & y_M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 + d_1 \\ w_2 + d_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ w_{M-1} + d_{M-1} \\ w_M + d_M \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ E & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ E & E & \dots & 0 & 0 \\ E & E & \dots & E & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 + d_1 \\ w_2 + d_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ w_{M-1} + d_{M-1} \\ w_M + d_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ v_{M-1} \\ v_M \end{bmatrix} \quad (C.5b)$$

Durch Auflösung nach den Vektoren der Wartezeiten ergibt sich das Gleichungssystem C.5c:

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_{M-1} \\ w_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E-y_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ E-y_2 & E-y_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ E-y_{M-1} & E-y_{M-1} & \dots & E-y_{M-1} & 0 \\ E-y_M & E-y_M & \dots & E-y_M & E-y_M \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} y_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ y_2-E & y_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y_{M-1}-E & y_{M-1}-E & \dots & y_{M-1} & 0 \\ y_M-E & y_M-E & \dots & y_M-E & y_M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ d_{M-1} \\ d_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ v_{M-1} \\ v_M \end{bmatrix} \quad (C.5c)$$

Unter Verwendung der Regeln für die Inversion zerlegter Matrizen geht C.5c in das Gleichungssystem C.5d über:

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_{M-1} \\ w_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (E-y_1)^{-1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ - (E-y_1)^{-1} & (E-y_2)^{-1} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & (E-y_{M-1})^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & - (E-y_{M-1})^{-1} & (E-y_M)^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ y_2-E & y_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y_{M-1}-E & y_{M-1}-E & \dots & y_{M-1} & 0 \\ y_M-E & y_M-E & \dots & y_M-E & y_M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ d_{M-1} \\ d_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ v_{M-1} \\ v_M \end{bmatrix} \quad (C.5d)$$

Aus dem Gleichungssystem C.5d lassen sich unter Beachtung der Nebenbedingungen C.2 und C.3 sowie der Ganzzahligkeits- und Nichtnegativitätsbedingungen C.7 bzw. C.8

$$y_m^{qp} \quad \text{ganzzahlig} \quad p, q = 1, \dots, P; \quad \text{für alle } m \quad (C.7)$$

$$y_m^{qp}, w_m^p, v_m^p \geq 0 \quad p, q = 1, \dots, P; \quad \text{für alle } m \quad (C.8)$$

die Wartezeiten aller realisierbaren Gangfolgealternativen der Aufträge bestimmen. Zugleich bildet dieses Gleichungssystem die Interdependenzen zwischen den Wartezeiten der Aufträge und den Leerzeiten der Produktiveinheiten ab.

Bei der Ermittlung der Kehrmatrizen $(E - Y_m)^{-1}$ kann berücksichtigt werden, daß die P-te Potenz Y_m^P der Matrix Y_m ¹² bei insgesamt P Aufträgen wegen der Zyklusbedingungen C.3 eine Nullmatrix ist. Zur Berechnung eines jeden Elements von Y_m^P müssen nämlich P Reihenfolgevariablen miteinander multipliziert werden. Da Zyklen nicht zulässig sind, können aber höchstens P - 1 Reihenfolgevariablen gleichzeitig gleich Eins sein. Deshalb läßt sich die Kehrmatrix $(E - Y_m)^{-1}$ mit der Neumannschen Reihe berechnen. Es ist:

$$(E - Y_m)^{-1} = E + Y_m + Y_m^2 + \dots + Y_m^{P-1} \quad (C.9)$$

Zum Beispiel erhält man in dem einfachen Fall, daß drei Aufträge in zeitlich nicht abgestimmter Fließfertigung von vier Produktiveinheiten¹³ bearbeitet werden, das Gleichungssystem C.10:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} E+y_1+y_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ -E-y_1-y_1^2 & E+y_2+y_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & -E-y_2-y_2^2 & E+y_3+y_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & -E-y_3-y_3^2 & E+y_4+y_4^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1 & 0 & 0 & 0 \\ y_2-E & y_2 & 0 & 0 \\ y_3-E & y_3-E & y_3 & 0 \\ y_4-E & y_4-E & y_4-E & y_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} y_1+y_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ -E-y_1-y_1^2 & y_2+y_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & -E-y_2-y_2^2 & y_3+y_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & -E-y_3-y_3^2 & y_4+y_4^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E+y_1+y_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ -E-y_1-y_1^2 & E+y_2+y_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & -E-y_2-y_2^2 & E+y_3+y_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & -E-y_3-y_3^2 & E+y_4+y_4^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (C.10)$$

Aus der Zyklusbedingung

$$y_m^{pq} + y_m^{qp} \leq 1$$

folgt

$$y_m^{pq} \cdot y_m^{qp} = 0$$

¹² Es ist zu beachten, daß hier die bei Matrizen hochgestellten Zeichen Potenzen und keine Bezugsgrößenindizes angeben.

¹³ Es wird ein Beispiel mit vier Maschinen gewählt, da bei nichttaktierter Fließfertigung mit drei Produktiveinheiten die Gangfolge mit minimaler Zykluszeit unter bestimmten Prämissen durch einen Algorithmus von Johnson bzw. darauf aufbauende Ansätze hergeleitet werden kann. Vgl. Johnson [Production Schedules] 61 ff.; Bellman [Aspects] 168 ff.; Mitten [Sequencing] 293 ff.; Szwarc [Sequencing Problems] 129 ff.; Arthanari/Mukhopadhyay [Note] 135 ff.; Szwarc [Aspects] 145 ff.

Deshalb ist in diesem Beispiel

$$E + y_m + y_m^2 = \begin{bmatrix} 1 & y_m^{21} + y_m^{23}y_m^{31} & y_m^{31} + y_m^{32}y_m^{21} \\ y_m^{12} + y_m^{13}y_m^{32} & 1 & y_m^{32} + y_m^{31}y_m^{12} \\ y_m^{13} + y_m^{12}y_m^{23} & y_m^{23} + y_m^{21}y_m^{13} & 1 \end{bmatrix}$$

	m	1	2	3	4
p					
1		6	2	3	7
2		3	7	4	5
3		5	1	2	4

Abb. 16: Beispiel für Fertigungszeiten mehrerer Aufträge

Für die in Abbildung 16 angegebenen Fertigungszeiten je Auftrag und Produktiveinheit sowie die Gangfolgealternative

$$\begin{aligned} y_1^{12} &= y_1^{23} = 1 && \text{in Produktiveinheit 1} \\ y_2^{12} &= y_2^{23} = 1 && \text{in Produktiveinheit 2} \\ y_3^{13} &= y_3^{32} = 1 && \text{in Produktiveinheit 3} \\ y_4^{13} &= y_4^{32} = 1 && \text{in Produktiveinheit 4} \end{aligned}$$

erhält man aus C.10 das folgende Gleichungssystem C.11 der Warte- und Leerzeiten:

$$\begin{array}{l}
 \left[\begin{array}{c|ccccccccc}
 w_1^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 w_1^2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 w_1^3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 w_2^1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 w_2^2 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 w_2^3 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 w_3^1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 w_3^2 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 w_3^3 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 w_4^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 w_4^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\
 w_4^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0
 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c|ccccccccc}
 6 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 5 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 2 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 7 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 3 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 4 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
 2 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 5 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\
 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0
 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c|ccccccccc}
 v_1^1 & v_1^1 \\
 v_1^2 & 6+v_1^1+v_4^4 \\
 v_1^3 & 9+v_1^1+v_1^2+v_3^3 \\
 v_2^1 & -6-v_1^1+v_1^1 \\
 v_2^2 & -7-v_1^1-v_1^2+v_2^1+v_2^2 \\
 v_2^3 & -5-v_1^1-v_2^1-v_3^1+v_1^2+v_2^2+v_3^3 \\
 v_3^1 & -2-v_2^1+v_3^1 \\
 v_3^2 & -4-v_2^1-v_2^2+v_3^1+v_3^2+v_3^3 \\
 v_3^3 & -7-v_2^1-v_2^2-v_2^3+v_1^1+v_3^1 \\
 v_4^1 & -3-v_3^1+v_4^1 \\
 v_4^2 & 2-v_3^1-v_3^2-v_3^3+v_4^1+v_4^2+v_4^3 \\
 v_4^3 & 2-v_3^1-v_3^2+v_4^1+v_4^2
 \end{array} \right] = 0
 \end{array}$$

(C.11)

130 C. Interdependenzen bei konstanter Struktur der Produktiveinheiten

Das Gleichungssystem C.11 umfaßt die Menge der zulässigen Lösungen für die Warte- und Leerzeiten der zugrunde gelegten Gangfolgealternative. Unter Beachtung der Nichtnegativitätsbedingungen läßt sich aus ihm folgende Lösung leicht ermitteln, die in den Ganttdiagrammen von Abbildung 17 graphisch wiedergegeben ist:

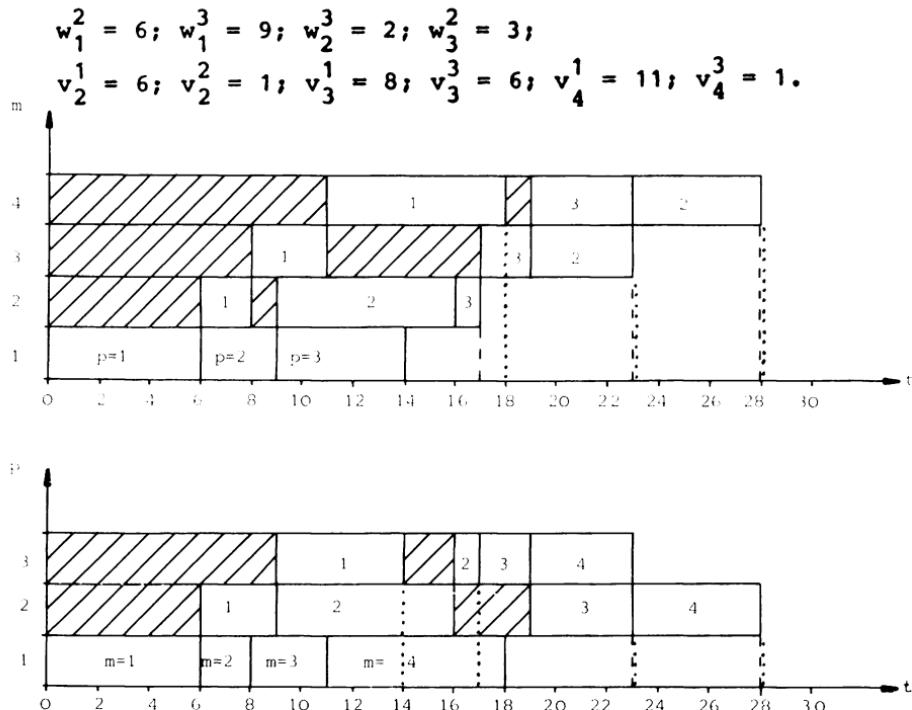


Abb. 17: Ganttdiagramme des betrachteten Beispiels

Die Festlegung der Gangfolgen sowie der Warte- und Leerzeiten hängt von der verfolgten Zielsetzung ab. Wird bei allen Aufträgen als Fertigungsbeginn der Anfang des Betrachtungszeitraums angenommen, so erhält man für die betrachtete Gangfolgealternative die Gesamtdurchlaufzeit D_p aller Aufträge¹⁴.

$$D_p = \sum_{p=1}^3 \sum_{m=1}^4 (d_m^p + w_m^p) = 18 + 19 + 12 + 9 + 11 = 69$$

¹⁴ Vgl. zu diesen Zielen Gutenberg [Produktion] 215 ff.; Sisson [Sequencing] 12; Schweitzer [Probleme] 64 ff.; Hoss [Fertigungsablaufplanung] 38 f.; Ashour [Sequencing Theory] 41 ff.; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 32 ff.

Die Summe der Belegungszeiten D_M aller Produktiveinheiten beträgt:

$$D_M = \sum_{m=1}^4 \sum_{p=1}^3 (d_m^p + v_m^p) = 14+10+7+16+7+16+12 = 82$$

Die Zykluszeit D_Z^{15} entspricht dem Fertigstellungstermin D_p des zuletzt bearbeiteten Auftrags bzw. der längsten Belegungszeit D_m einer Produktiveinheit. Sie beträgt:

$$\begin{aligned} D_Z &= \max_p D_p = \max \{18, 23, 28\} &= 28 \\ &= \max_m D_m = \max \{14, 17, 23, 28\} &= 28 \end{aligned}$$

Bei identischer Reihenfolge der Produktiveinheiten in allen Stückprozessen lassen sich die Wartezeiten aus dem Gleichungssystem C.5d mit begrenztem Rechenaufwand für alternative Gangfolgen bestimmen, weil die zu invertierende Gangfolgenmatrix

$$\begin{bmatrix} E - y_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ E - y_2 & E - y_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ E - y_{M-1} & E - y_{M-1} & \dots & E - y_{M-1} & 0 \\ E - y_M & E - y_M & \dots & E - y_M & E - y_M \end{bmatrix}$$

oberhalb der Teilmatrizen, die auf der Hauptdiagonalen liegen, lediglich Nullmatrizen aufweist. Je stärker dagegen die Operationenfolgen und/oder die Reihenfolgen der Produktiveinheiten bei den zu bearbeitenden Aufträgen voneinander abweichen, desto komplexer wird die Struktur der zu invertierenden Gangfolgenmatrix. Sie lässt sich in diesen Fällen nicht wie bei identischer Reihenfolge der Produktiveinheiten in Teilmatrizen zerlegen, von denen mehrere Nullmatrizen darstellen. Dennoch kann das auf den Gleichungen C.4 der Wartezeiten basierende Produktionszeitenmodell auch bei nichtidentischer Reihenfolge der Produktiveinheiten formuliert werden. Da hier die grundsätzliche Kennzeichnung des Produktionszeitenmodells im Vordergrund steht, wird ein Beispiel mit unterschiedlichen Reihenfolgen der Produktiveinheiten erst im folgenden Abschnitt 2 dargestellt.

¹⁵ Vgl. Johnson [Production Schedules] 61 ff.; Sisson [Sequencing] 12; Ashour [Sequencing Theory] 40 ff.

2. Erweiterung des Produktionszeitenmodells um reihenfolgeabhängige Rüstzeiten und eine variable Auftragszahl

Reihenfolgeabhängige Rüstzeiten können nicht in die Fertigungszeiten der Aufträge einbezogen werden. Sie sind gesondert abzubilden. Für die Erweiterung des Produktionszeitenmodells um reihenfolgeabhängige Rüstzeiten teilt man die gesamte Rüstzeit einer Produktiveinheit m vor Bearbeitung eines Auftrags p zweckmäßigerweise in eine reihenfolgeunabhängige Zeit h_m^p und eine reihenfolgeabhängige Zeit h_m^{qp} auf¹. Der reihenfolgeunabhängige Anteil h_m^p der gesamten Rüstzeit kann so bemessen werden, daß er der Dauer für die Einrichtung der Produktiveinheit m auf den Auftrag p entspricht, wenn dieser von m als erster Auftrag im Betrachtungszeitraum bearbeitet wird. Die Differenz zur gesamten Rüstzeit entspricht dann dem reihenfolgeabhängigen Zeitanteil h_m^{qp} .

Bei vorgegebenen Auftragsgrößen kann der reihenfolgeunabhängige Rüstzeitanteil h_m^p in die Fertigungszeit d_m^p des Auftrags einbezogen werden. Dagegen ist der reihenfolgeabhängige Rüstzeitanteil h_m^{qp} für die Umrüstung der Produktiveinheit m von Auftrag q zum Auftrag p gesondert zu erfassen. Diese (entscheidungsabhängige) Zeit wird zur Wartezeit des Auftrags gerechnet. Ferner wird unterstellt, daß die Umrüstung der Produktiveinheiten unmittelbar nach Fertigstellung der jeweils vorausgehenden Aufträge durchgeführt werden kann und somit gegebenenfalls die Leerzeiten vermindert. Unter Berücksichtigung der reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten h_m^{qp} ergeben sich durch Erweiterung der Gleichung C.4 die Gleichungen der Wartezeiten C.12:

$$\begin{aligned}
 w_m^p = & y_m^{1p} \cdot \sum_{f=1}^{f_m^1} (w_{mf}^1 + d_{mf}^1) + \dots + y_m^{pp} \cdot \sum_{f=1}^{f_m^p} (w_{mf}^p + d_{mf}^p) - \sum_{f=1}^{f_m^{p-1}} (w_{mf}^p + d_{mf}^p) \\
 & + v_m^p + y_m^{1p} \cdot h_m^{1p} + \dots + y_m^{pp} \cdot 0 + \dots + y_m^{pp} \cdot h_m^{pp} \quad (C.12)
 \end{aligned}$$

Durch Formulierung der Gleichungen C.12 für alle Aufträge und Produktiveinheiten erhält man das Produktionszeitenmodell bei reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten².

¹ Diese Unterscheidung nimmt Dinkelbach vor. Im Anschluß an Dinkelbach könnten diese Teilrüstzeiten „Auflegungs-“ und „Sortenwechselzeit“ genannt werden. Vgl. Dinkelbach [Produktionsplanung] 61 f.

² Das Modell könnte ferner durch die Berücksichtigung von Aufträgen erweitert werden, die schon im vorhergehenden Betrachtungszeitraum begonnen worden sind. Dabei könnten die noch durchzuführenden Arbeitsgänge zu „verkürzten“ Aufträgen zusammengefaßt werden.

Die wichtigste Einschränkung des bisher entwickelten Produktionszeitenmodells besteht darin, daß die Zahl und Art der Aufträge sowie die Produktionsmengen je Auftrag vorgegeben sein müssen. Die Interdependenzen zwischen mengenmäßiger Zusammensetzung und zeitlicher Verteilung des aktuellen Produktionsprogramms werden nicht abgebildet. Daher ist mit diesem Ansatz keine simultane Planung von Produktionsmengen und Produktionsablauf möglich. *Zimmermann* und *Pfaffenzeller*³ haben das Modell von *Manne* erweitert, indem sie die Herstellungsmengen je Auftrag bei *gegebener Auftragszahl* als Variablen behandeln. Sie gehen davon aus, daß jede herzustellende Produktart im Planungszeitraum einmal aufgelegt wird. Die Fertigungszeit d_m^p eines Auftrags und damit der Produktart p ergibt sich aus den Fertigungszeiten je Stück und der (variablen) Auftragsmenge p^p . Wird die Produktart p von der m -ten Produktiveinheit mit einer vorgegebenen Produktionsgeschwindigkeit von ρ_m^p Stück je Zeiteinheit gefertigt, so beträgt die Fertigungszeit des Auftrags p auf m ohne Rüstzeiten

$$d_m^p = \frac{p^p}{\rho_m^p}$$

Zeiteinheiten. Setzt man diese Gleichung in die Gleichungen der Wartezeiten ein, so läßt sich ein erweitertes Produktionszeitenmodell formulieren. Dieses bildet auch die Interdependenzen zwischen Gangfolgen, Warte- sowie Leerzeiten und den Herstellungsmengen bei *gegebener Auftragszahl* ab.

Für die simultane Losgrößen- und Ablaufplanung lassen sich nach der Meinung von *Seelbach* und Mitarbeitern Produktionszeitenmodelle mit auftragsfolgebezogenen Binärvariablen nicht verwenden, da bei diesen Entscheidungsproblemen „... die Zahl der Aufträge, die zu bearbeiten und in Auftragsfolgen einzurichten sind, nicht festliegt ...“⁴. Dieser Meinung kann nicht gefolgt werden, wenn man von folgendem Grundgedanken ausgeht. Für jede Produktart p wird eine bestimmte höchstmögliche Zahl K von Auflegungen je Planungszeitraum vorgegeben. Die Auftragsmenge p^{pk} jeder Auflage k ist variabel. Eine zulässige Lösung besteht deshalb in einer Auftragsmenge bzw. Losgröße von Null. Sofern dieses Ergebnis eintritt, ist die zieloptimale Auflegungszahl der Produktart p geringer als die vorgegebene maximale Auflegungszahl. Werden beispielsweise für eine Produktart fünf mögliche Aufträge bzw. Auflegungen vorgegeben und in einem Optimierungsmodell für zwei Aufträge Losgrößen von Null ermittelt, so ist diese Produktart lediglich dreimal aufzulegen. Je mehr Aufträge bei jeder Produktart möglich sind, desto mehr Auflegungsalternativen werden erfaßt und desto größer ist der Präzisionsgrad des Modells. Damit steigt jedoch die Zahl der Reihenfolgealternativen und der ganzzahligen Rei-

³ *Zimmermann* [Verfahren] 156 ff.; *Zimmermann/Pfaffenzeller* [Ablaufplanung] 259 ff.

⁴ *Seelbach* und *Mitarbeiter* [Ablaufplanung] 180.

henfolgevariablen stark an. Deshalb sind die Leistungsfähigkeit des verfügbaren Rechenalgorithmus und der Anspruch an Planungsgenauigkeit maßgebend für die vorzugebende Auftragszahl je Produktart. Zudem bestehen in der Realität meist gewisse Vorstellungen darüber, in welchen Bereichen die Auflegungszahlen der einzelnen Produktarten liegen.

Bei geschlossener Produktion hängt die Durchlaufzeit eines Auftrags auch von der Losgröße ab. Eine Fertigung in kleinen Losen kann daher eine Verkürzung der Durchlaufzeiten bewirken. Andererseits nimmt die Zahl der Umrüstungen mit der Auflegungszahl zu. Deshalb können die Rüstvorgänge in einem Modell mit variablen Losgrößen nicht vernachlässigt werden.

Die Erweiterung des Produktionszeitenmodells um variable Losgrößen und variable Auflegungszahlen wird anhand eines einfachen Beispiels mit nicht-identischer Reihenfolge der Produktiveinheiten gekennzeichnet. Zwei Endproduktarten mit glatten Stückprozessen werden von drei Produktiveinheiten $m = 1, 2, 3$ erzeugt. Produkt $p = 1$ durchläuft die Produktiveinheiten in der Reihenfolge 2, 1, 3, während Produkt $p = 2$ die Reihenfolge 1, 2, 3 aufweist. Zur Übersichtlichkeit der Darstellung wird angenommen, daß jede Produktart im Betrachtungszeitraum höchstens zweimal aufgelegt werden kann. Bezeichnet man jeden Auftrag durch einen ersten Produktartenindex p und einen zweiten Auftrags- bzw. Auflegungsindex k , so können im Betrachtungszeitraum die Aufträge 11 sowie 12 von Produktart 1 und 21 sowie 22 von Produktart 2 gefertigt werden. Der Auftragsindex gibt zugleich an, in welcher Reihenfolge Aufträge derselben Produktart aufgelegt werden müssen.

Die Reihenfolgealternativen werden im erweiterten Produktionszeitenmodell durch die Binärvariablen $y_m^{q_1, p_k}$ erfaßt. Diese nehmen nur dann den Wert Eins an, wenn der k -te Auftrag von Produktart p direkt nach dem l -ten Auftrag von Produktart q durch die Produktiveinheit m bearbeitet wird. Eine Produktiveinheit kann vor einem Auftrag p_k die anderen Aufträge derselben Produktart p mit einer niedrigeren Auftragsnummer als k sowie sämtliche Aufträge der anderen Produktarten fertigen, welche diese Produktiveinheit durchlaufen. Im betrachteten Beispiel sind die Reihenfolgevariablen $y_m^{12, 12}$, $y_m^{22, 22}$, $y_m^{12, 11}$ und $y_m^{22, 21}$ gleich Null, da die zweiten Aufträge der Produktarten nicht als erste und nicht vor ihren jeweils ersten Aufträgen bearbeitet werden dürfen. Dagegen ist es zulässig, daß auf einer Produktiveinheit mehrere Aufträge derselben Produktart unmittelbar aufeinander folgen. Bei geschlossener Produktion werden damit die Möglichkeit einer Weitergabe von kleineren Losen und die früheren Fertigstellungstermine der zuerst gefertigten Lose berücksichtigt. Jedoch muß beachtet werden, daß zwischen zwei Aufträgen derselben Produktart keine Umrüstung der Produktiveinheit erfolgt.

Die Rüstzeiten sind lediglich von den Produktarten, nicht von den Auftragsnummern abhängig. Neben ihrem reihenfolgeabhängigen Anteil h_m^{qp} muß auch der reihenfolgeunabhängige Anteil h_m^p in den Gleichungen der Wartezeiten ex-

plizit berücksichtigt werden. Er kann bei variabler Auftragsmenge nicht in eine vorgegebene Fertigungszeit je Auftrag einbezogen werden. Im Gegensatz zum Fall vorgegebener Losgrößen rechnet man ihn zweckmäßigerverweise zu den Wartezeiten. Dann erhält man für das betrachtete Beispiel das auf Seite 136 wiedergegebene Gleichungssystem C.13 der Wartezeiten w_m^{pk} , der Losgrößen p^{pk} sowie der Leerzeiten y_m^{pk} für jeweils $k = 1, 2$ Auflegungen der Produktarten $p = 1, 2$ auf den Produktiveinheiten $m = 1, 2$ und 3.

Die Werte der Variablen des Gleichungssystems C.13 werden durch die Ganzzahligkeitsbedingungen der Reihenfolgevariablen

$$y_m^{pk, q1} \quad \text{ganzzahlig} \quad p, q = 1, 2; k, l = 1, 2; \quad m = 1, 2, 3 \quad (\text{C.14})$$

die Zyklusbedingungen

$$\begin{aligned} y_m^{pk, q1} + y_m^{q1, pk} &\leqslant 1 \\ y_m^{pk, q1} + y_m^{q1, jn} + y_m^{jn, pk} &\leqslant 2 \\ y_m^{pk, q1} + y_m^{q1, jn} + y_m^{jn, io} + y_m^{io, pk} &\leqslant 3 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} p, q, j, i = 1, 2; \\ k, l, n, o = 1, 2; \\ m = 1, 2, 3 \end{array} \right\} \quad (\text{C.15})$$

sowie die Nichtnegativitätsbedingungen

$$y_m^{pk, q1}, w_m^{pk}, v_m^{pk}, p^{pk} \geq 0 \quad p, q = 1, 2; k, l = 1, 2; \quad m = 1, 2, 3 \quad (\text{C.16})$$

beschränkt. Dagegen muß im Unterschied zu C.2 lediglich gefordert werden, daß bei jedem Auftrag pk höchstens eine Reihenfolgevariable $y_m^{q1, pk}$ auf m gleich Eins ist, weil nicht alle Aufträge gefertigt werden müssen:

$$\sum_{q=1}^P \sum_{l=1}^K y_m^{q1, pk} \leq 1 \quad \text{für alle } p, k, m \quad (\text{C.17a})$$

Jedoch ist durch die zusätzlichen Nebenbedingungen C.17b

$$p^{pk} \leq c \cdot \sum_{q=1}^P \sum_{l=1}^K y_m^{q1, pk} \quad \text{für alle } p, k, m \quad (\text{C.17b})$$

sicherzustellen, daß eine positive Fertigungsmenge p^{pk} nur eintritt, wenn bei allen Produktiveinheiten, von denen die Produktart p bearbeitet werden muß, eine ihrer Reihenfolgevariablen gleich Eins ist. In C.17 stellt dabei C eine sehr große konstante Zahl dar.

Ferner ist zu fordern, daß alle Aufträge innerhalb der Dauer D des Betrachtungszeitraums fertiggestellt werden⁵. Bezeichnet man die jeweils letzte Pro-

⁵ Vgl. Zimmermann/Pfaffenzeller [Ablaufplanung] 263.

I. Interdependenzen zwischen Produktionsprogramm und Produktionsablauf 137

duktiveinheit in der Operationenfolge jeder Produktart p mit dem Index M_p , so wird diese Forderung durch die Nebenbedingungen C.18 erfüllt:

$$w_{M_p}^{pk} + \frac{p^{pk}}{\rho_{M_p}^p} \leq D \quad \text{für alle } p \text{ und } k \quad (\text{C.18})$$

Das Gleichungssystem C.13 bildet unter Beachtung der Nebenbedingungen C.14 bis C.18 für das betrachtete Beispiel die Interdependenzen zwischen den variablen Produktionsmengen, Auflegungszahlen sowie Gangfolgen und den Warte- sowie Leerzeiten ab. Es läßt sich grundsätzlich auf eine größere Zahl von Produktarten, Aufträgen und Produktiveinheiten erweitern.

Bei variablen Produktionsmengen ist eine nur auf Durchlauf- oder Belegungszeiten bzw. Warte- oder Leerzeiten basierende Zielsetzung wenig sinnvoll. Deshalb verfolgt man in Modellen der simultanen Programm- und Ablaufplanung meist das Ziel der Deckungsbeitragsmaximierung⁶. Vereinfachend kann man unterstellen, daß die Produktionsmengen bei gegebenen Stücklerlösen π_p abgesetzt werden, sofern die Absatznebenbedingungen

$$\sum_k p^{pk} \leq N_p \quad \text{für alle } p \quad (\text{C.19})$$

mit den vorgegebenen Absatzhöchstmengen N_p je Produktart eingehalten werden. Durch eine Bewertung der Rüstzeiten h_m^{qp} bzw. h_m^p mit den Rüstkostensätzen $k_m^{u,qp}$ für reihenfolgeabhängige und $k_m^{u,p}$ für reihenfolgeunabhängige Rüstzeiten lassen sich die Rüstkosten erfassen. Die Lager- und Zinskosten können mit Hilfe der Warte- und der Fertigungszeiten ermittelt werden. Man kann annehmen, daß für jede Einheit der p -ten Produktart, die sich in ihrem f -ten Arbeitsgang in Produktiveinheit m befindet bzw. vor m gelagert ist, durchschnittliche Lager- und Zinskosten von $k_{lfm}^{z,p}$ je Stück und Zeiteinheit anfallen. Ferner kann man davon ausgehen, daß Kosten der Lagerung vor den ersten Arbeitsgängen nicht einbezogen werden, weil keine alternativen Beschaffungszeitpunkte berücksichtigt sind. Daher umfaßt die Berechnung der Lager- und Zinskosten nicht die Wartezeiten vor den ersten Arbeitsgängen. Bezeichnet man die variablen Fertigungsstückkosten der Produktart p mit $k^{f,p}$ und die variablen Beschaffungskosten je Produkteinheit mit $k^{b,p}$, so läßt sich die Zielfunktion C.20 aufstellen:

⁶ Zimmermann/Pfaffenzeller [Ablaufplanung] 263; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 179.

Durch die Berücksichtigung von Verspätungskosten einzelner Aufträge, eine Differenzierung zwischen Fertigungs- und Absatzmengen sowie eine Aufspaltung der Absatzbedingungen C.19 nach Teilperioden des Planungszeitraums lässt sich das Modell verfeinern.

3. Möglichkeiten zur linearen Formulierung des Produktionszeitenmodells

Das entwickelte Produktionszeitenmodell zur Abbildung der Interdependenzen zwischen Gangfolgen, Warte- und Leerzeiten ist nichtlinear. In ihm sind die Reihenfolgevariablen mit den Wartezeitvariablen (z. B. in C.4) bzw. den Leerzeitvariablen (z. B. C.5d) sowie im erweiterten Modell zusätzlich mit den Produktionsmengenvariablen (in C.13) multipliziert. Im folgenden wird gezeigt, daß sich wichtige Teile des Modells durch eine Zerlegung der nichtlinearen Gleichungen der Wartezeiten in ein System linearer Gleichungen und Ungleichungen überführen läßt.

Im nichtlinearen Ansatz wird der Einfluß aller möglichen Vorgänger eines Auftrags auf einer Produktiveinheit durch eine Gleichung seiner Wartezeit erfaßt. Diese lautet beispielsweise im Fall vorgegebener Auftragszahlen und Losgrößen sowie reihenfolgeabhängiger Rüstzeiten entsprechend Gleichung C.12:

$$w_m^P = y_m^{1P} \cdot \sum_{f=1}^{f_m^1} (w_{m_f}^1 + d_{m_f}^1) + \dots + y_m^{PP} \cdot \sum_{f=1}^{f_m^P} (w_{m_f}^P + d_{m_f}^P) - \sum_{f=1}^{f_m^{P-1}} (w_{m_f}^P + d_{m_f}^P)$$

$$+ v_m^P + y_m^{1P} \cdot h_m^{1P} + \dots + y_m^{PP} \cdot 0 + \dots + y_m^{PP} \cdot h_m^{PP} \quad (C.12)$$

Da höchstens ein anderer Auftrag q unmittelbar vor dem Auftrag p bearbeitet werden kann, ist in jeder zulässigen Lösung höchstens eine der Reihenfolgevariablen y_m^{qp} und damit eines der Glieder

$$y_m^{qp} \cdot \sum_{f=1}^{f^q} (w_{m_f^q}^q + d_{m_f^q}^q) + y_m^{qp} \cdot h_m^{qp}$$

größer als Null. Man kann die Gleichungen der Wartezeiten so in mehrere lineare Gleichungen zerlegen, daß jede Gleichung den Einfluß genau eines möglichen Vorgängers des jeweiligen Auftrags erfaßt. Durch die Einfügung eines zusätzlichen Gliedes $D(1 - y_m^{\text{ap}})$, in dem D der Dauer des Planungszeitraums entspricht, wird sichergestellt, daß bei jeder Gangfolgealternative höchstens eine der erhaltenen Gleichungen wirksam wird¹. Wenn eine Produktiveinheit m insgesamt P Aufträge bearbeitet, läßt sich die nichtlineare Gleichung C.12 in ein System von $P - 1$ linearen Gleichungen der Art C.21 überführen²:

$$w_m^P = \sum_{f=1}^{f_m^1} \left(\frac{w_f^1}{m_f^1} + \frac{d_f^1}{m_f^1} \right) + h_m^{1P} - \sum_{f=1}^{f_m^{P-1}} \left(\frac{w_f^P}{m_f^P} + \frac{d_f^P}{m_f^P} \right) + v_m^{1P} - D \cdot (1 - y_m^{1P})$$

.

$$w_m^P = \sum_{f=1}^{f_m^P} \left(\frac{w_f^P}{m_f^P} + \frac{d_f^P}{m_f^P} \right) + h_m^{PP} - \sum_{f=1}^{f_m^{P-1}} \left(\frac{w_f^P}{m_f^P} + \frac{d_f^P}{m_f^P} \right) + v_m^{PP} - D \cdot (1 - y_m^{PP}) \quad (C.21)$$

Das Glied $D(1 - y_m^{qp})$ nimmt nur dann den Wert Null an, wenn der Auftrag q direkt vor p gefertigt wird und damit $y_m^{qp} = 1$ gilt. Die in diesem Fall wirksam werdende Gleichung aus dem Gleichungssystem C.21 bestimmt die Wartezeit w_m^p der Produktart p vor der Produktiveinheit m. Alle anderen Reihenfolgevariablen des Gleichungssystems C.21 sind gleich Null. Damit ist in ihren Gleichungen das Glied $D(1 - y_m^{qp})$ gleich D. Hieraus folgt, daß bei beliebigen nicht-negativen Werten der Schlupfvariablen v_m^{qp} die Gleichungen aus C.21, bei denen $y_m^{qp} = 0$ gilt, stets erfüllt sind und damit keinen Einfluß auf den Wert der Wartezeitvariablen nehmen.

In entsprechender Weise können sämtliche Wartezeitgleichungen des Produktionszeitenmodells in ein System linearer Gleichungen überführt werden. Von den Schlupfvariablen v_m^{qp} im Gleichungssystem C.21 gibt höchstens eine³ die Leerzeit der Produktiveinheit m vor der Bearbeitung von Auftrag p an. Um die Leerzeitvariablen zu bestimmen, müssen weitere Ungleichungen einge-

¹ Derartige Glieder werden eingeführt bei Manne [Scheduling Problem] 220; Wagner [Machine Scheduling] 135.

² Es handelt sich um $P - 1$ Gleichungen, da die p-te Gleichung in C.21 nicht enthalten ist. Der p-te Auftrag kann nicht Vorgänger von sich selbst sein.

³ Der Fall, daß p als erster Auftrag von m bearbeitet wird ($y_{im}^{pp} = 1$) ist in C.12 und damit in C.21 nicht enthalten. Deshalb ist es möglich, daß keine der Schlupfvariablen von C.21, sondern die nicht enthaltene Variable y_{im}^{pp} die Leerzeit angibt.

führt werden. Auf ihre Formulierung wird hier verzichtet, da lediglich das grundsätzliche Vorgehen bei der linearen Formulierung des Produktionszeitenmodells gekennzeichnet werden soll.

Die Gleichungen der Wartezeiten lassen sich in entsprechender Weise bei variablen Produktionsmengen und variabler Auftragszahl linear formulieren. Dagegen erscheint eine lineare Formulierung der in den Variablen p^{pk} und w_m^{pk} nichtlinearen Zielfunktion C.20 des simultanen Produktionsprogramm- und Ablaufmodells nicht durchführbar.

Durch die lineare Formulierung des Produktionszeitenmodells kann einerseits seine numerische Lösbarkeit erleichtert werden. Jedoch stehen leistungsfähige Algorithmen bislang nur für eine sehr geringe Zahl ganzzahliger Variablen zur Verfügung. Andererseits umfaßt der nichtlineare Ansatz des Produktionszeitenmodells eine deutlich geringere Zahl von Gleichungen, weil die verschiedenen Gangfolgealternativen eines Auftrags auf einer Produktiveinheit jeweils durch eine Gleichung der Wartezeit ausgedrückt werden.

Die Erweiterungen des hier entwickelten Produktionszeitenmodells gegenüber dem von *Manne*⁴ bestehen insbesondere in der Berücksichtigung von reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und der Erweiterung auf variable Auftragsmengen sowie Auflegungszahlen. Darüber hinaus werden die Maschinenfolgebedingungen je Auftrag und die Reihenfolgebedingungen je Produktiveinheit des Modells von *Manne* in der Grundgleichung C.4 zu einer Bedingung zusammengefaßt. Ein wichtiger Unterschied zu *Manne* liegt in der engeren Formulierung der auftragsfolgebezogenen Variablen y_m^{qp} . Bei *Manne* nehmen diese Binärvariablen auch dann den Wert Eins an, wenn Auftrag q nicht der unmittelbare Vorgänger von Auftrag p auf m ist. Hierdurch vermindert sich die Zahl der notwendigen Zyklusbedingungen C.3 wesentlich, weil nur die Bedingungen

$$y_m^{pq} + y_m^{qp} = 1$$

erfüllt sein müssen. Ferner kann auf die Nebenbedingungen C.2 verzichtet werden. Jedoch lassen sich die Leerzeiten nicht unmittelbar in den Gleichungen der Wartezeiten berücksichtigen. Deshalb erscheinen die lineare Formulierung der Produktionszeitenmodelle sowie die weitere Fassung der auftragsfolgebezogenen Binärvariablen nach *Manne* zur numerischen Lösung der Modelle mehr geeignet. Dagegen lassen sich die Interdependenzen zwischen Gangfolgen, Warte- und Leerzeiten sowie gegebenenfalls Produktionsmengen in dem hier entwickelten Ansatz besser sichtbar machen.

⁴ *Manne* [Scheduling Problem] 219 ff.

4. Aussagefähigkeit und Anwendbarkeit von Produktionszeitenmodellen

Da die Grundstruktur von Produktionsmengenmodellen anhand des dynamischen Input-Output-Modells gekennzeichnet worden ist, lässt sich die Aussagefähigkeit von Produktionszeitenmodellen durch einen Vergleich mit den wichtigsten Eigenschaften der Produktionsmengenmodelle analysieren. Grundlegende Variablen der Produktionszeitenmodelle sind die Warte- oder Lagerzeiten von Aufträgen, die Leerzeiten von Produktiveinheiten und die Fertigungszeiten von Aufträgen. Dagegen sind die Grundgleichungen von Produktionsmengenmodellen aus Variablen der Einsatz-, Ausbringungs-, Absatz- und Lagermengen aufgebaut. In beiden Modelltypen besteht aber eine enge Beziehung zwischen Mengen- und Zeitgrößen. Beispielsweise bestimmen die Auftragsmengen die Fertigungszeiten je Auftrag und die Stückzeiten die quantitative Leistungsfähigkeit einer Produktiveinheit je Intervall. Der bedeutsamste Unterschied zwischen beiden Modelltypen betrifft die Definition der Binärvariablen, durch welche die Gangfolgen abgebildet werden. Bezugsgrößen dieser Variablen sind in den Produktionszeitenmodellen die Auftragsfolgen je Produktiveinheit und in dynamischen Produktionsmengenmodellen die Zeitintervalle.

Das *Produktionsprogramm* gehört in den Produktionsmengenmodellen zu den konstituierenden Modellvariablen. Dagegen werden in den einfachen Produktionszeitenmodellen die Produktionsmengen eines Planungszeitraums und ihre Aufteilung in Aufträge bzw. Lose vorgegeben. Man geht also davon aus, daß die Planung der Produktionszeiten sukzessiv nach der Planung der Produktionsmengen erfolgt. Eine Abbildung der Interdependenzen zwischen Mengen- und Zeitplanung erscheint entsprechend der entwickelten Erweiterung nicht ausgeschlossen. Dabei erhöhen sich aber die Zahl der Binärvariablen und die Komplexität des Modells stark.

Für den Gegenstand dieser Arbeit ist maßgebend, inwieweit sich in beiden Modelltypen organisatorische Tatbestände erfassen lassen. Produktionszeiten- wie Produktionsmengenmodelle lassen sich für unterschiedliche *Organisationstypen* der Fertigung formulieren. Während der Organisationstyp in Produktionsmengenmodellen durch die Arbeitseinsatzmatrix unmittelbar abgebildet werden kann, ergibt er sich in Produktionszeitenmodellen mittelbar aus den für jede Produktiveinheit definierten Reihenfolgevariablen. Eine Berücksichtigung von Änderungen in der Ausstattung mit Arbeitskräften und Anlagen sowie in deren gegenseitiger Zuordnung ist in Produktionsmengenmodellen durchführbar¹. Sie wirft dagegen in Produktionszeitenmodellen sehr große Probleme auf, weil die Zahl der Reihenfolgealternativen je Produktiveinheit und damit die Zahl der zu definierenden Variablen von den Ausstattungsscheidungen abhängig sind.

¹ Vgl. Abschnitt D.

Eine grundsätzliche Einschränkung der Anwendbarkeit von Produktionszeitenmodellen liegt in der Prämisse *glatter* Stückprozesse. Das Produktionsprogramm muß sich aus einteiligen Produkten zusammensetzen oder nur solche mehrteiligen Produkte umfassen, bei denen sämtliche Einsatzteile von außen bezogen werden. Der Ansatz läßt sich kaum auf konvergierende sowie prozeß- oder programmbedingt divergierende Fertigungsprozesse erweitern. Bei derartigen Vergenztypen können nicht für jede Endproduktart Aufträge definiert werden, die über alle Arbeitsgänge je Stückprozeß hinweg identisch bezeichnet sind. Wenn ein Zusammenbau und/oder eine Aufteilung von Produktarten bzw. Produktmengen erfolgen, muß eine Vielzahl von Aufträgen definiert werden. Zwischen diesen können entsprechend dem jeweiligen Vergenztyp unterschiedliche Möglichkeiten der Vereinigung oder Aufspaltung von Aufträgen vorhergehender Arbeitsgänge bestehen. Beispielsweise gibt es bei programmbedingter Divergenz eine Vielzahl von Alternativen, die Produkte eines Auftrags auf nachfolgende verschiedene Aufträge aufzuteilen, in welchen diese Produkte eingesetzt werden. Die Auftragsstruktur des Produktionsprogramms ist bei diesen Vergenztypen so kompliziert, daß sich eine Definition von auftragsfolgebezogenen Reihenfolgevariablen im Gegensatz zu intervallbezogenen Zuordnungsvariablen in Produktionsmengenmodellen als äußerst schwierig erweist.

In Produktionszeitenmodellen wird in der Regel eine losweise *Weitergabe* der Produkte unterstellt. Dagegen sind Produktionsmengenmodelle mehr auf offene Produktion sowie die Weitergabe von Teillosen ausgerichtet. Jedoch lassen sich in beiden Modelltypen die verschiedenen Formen der Produktweitergabe zumindest näherungsweise abbilden.

Die Organisationstatbestände des Produktionsvollzugs werden ebenfalls in unterschiedlicher Weise wiedergegeben. Während die *Losgrößen* in Produktionszeitenmodellen als Auftragsmengen direkt abgebildet werden, ergeben sie sich in Produktionsmengenmodellen indirekt aus den in aufeinanderfolgenden Intervallen von einer Produktiveinheit bearbeiteten Produkten. Die *Arbeitsverteilung* schlägt sich bei Produktionszeitenmodellen in der Definition der Reihenfolgevariablen nieder. In Produktionsmengenmodellen ist sie aus der Arbeitseinsatzmatrix ersichtlich. *Alternativen* der Arbeitsverteilung lassen sich in Produktionsmengenmodellen über die Zuordnungsvariablen erfassen. Dagegen ist ihre Berücksichtigung in Produktionszeitenmodellen kaum möglich, weil die Zahl der für jede Produktiveinheit zu definierenden Reihenfolgevariablen von der Arbeitsverteilung abhängig ist. Die (gegebene) Arbeitsverteilung bildet hier die Basis für die Definition der Reihenfolgevariablen. Die *Gangfolgen* je Produktiveinheit werden in Produktionszeitenmodellen als Auftragsfolgen durch die Reihenfolgevariablen unmittelbar und in Produktionsmengenmodellen über die intervallbezogenen Zuordnungsvariablen mittelbar abgebildet.

Gerhard Mensch hat gezeigt, daß sich Intensitätsänderungen in Produktionszeitenmodellen berücksichtigen lassen². Dabei sind zusätzliche Variablen einzuführen, die angeben, welche Anteile der Auftragsmengen bei den verschiedenen konstanten Intensitätsgraden gefertigt werden. Somit läßt sich die *Leistungsbestimmung* in Produktionszeiten- und Produktionsmengenmodellen gleichermaßen durch alternative Intensitätsgrade abbilden.

Die praktische Anwendbarkeit eines Modells hängt in hohem Grade auch von seiner *numerischen Lösbarkeit* ab. Die Bestimmung einer optimalen Lösung der Produktionsmodelle mit Verfahren der linearen Programmierung wird vor allem durch die Zahl ihrer Binärvariablen bestimmt, weil leistungsfähige Algorithmen für gemischt-ganzzahlige Probleme bislang nur für eine eng begrenzte Zahl ganzzahliger Variablen entwickelt worden sind³. Für realitätsnahe Fragestellungen übersteigt die Zahl der ganzzahligen Variablen sowohl in den Produktionszeiten- als auch in den Produktionsmengenmodellen die Leistungsfähigkeit der gegenwärtig bekannten Optimierungsverfahren. Dennoch ist bedeutsam, daß die Anzahl ganzzahliger Variablen bei gegebener Auftragszahl und gegebenen Losgrößen im Normalfall in den Produktionszeitenmodellen deutlich geringer ist als in Produktionsmengenmodellen, die für dasselbe Problem formuliert werden⁴. Dieser Unterschied beruht darauf, daß die Auftragszahl des Produktionszeitenmodells meist wesentlich kleiner als die im entsprechenden Produktionsmengenmodell vorzugebende Intervallzahl ist. Die Zahl der ganzzahligen Variablen eines Produktionszeitenmodells nimmt aber stark zu, wenn die Zahl der Aufträge als Variable behandelt wird. Je realitätsnäher das Produktionszeitenmodell in diesem Fall gestaltet werden soll, desto höher müssen die vorzugebenden möglichen Auflegungszahlen gewählt werden. Damit erhöht sich die Zahl der Gangfolgealternativen zwischen den Aufträgen so stark, daß die Anzahl der ganzzahligen Variablen nicht mehr geringer ist als bei Produktionsmengenmodellen, die für dasselbe Problem formuliert werden.

Die Zielfunktionen basieren bei Produktionszeitenmodellen in erster Linie auf Zeitgrößen (Durchlaufzeiten, Belegungszeiten) und in Produktionsmengenmodellen auf Mengengrößen (Absatzmengen, Einsatzmengen). Bei umfassenden Zielsetzungen wie der Deckungsbeitragsmaximierung sind jedoch in beiden Modelltypen Mengen- und Zeitgrößen zu berücksichtigen. Dies wird zum Beispiel an den Lagerkosten deutlich, die sowohl mengen- als auch zeitabhängig sind.

Für eine Berücksichtigung organisatorischer Tatbestände in produktions-theoretischen Aussagensystemen stellen Produktionsmengenmodelle eine bes-

² Mensch [Ablaufplanung] 160 ff.

³ Vgl. insbesondere Gomory [Algorithm]; Fleischmann [Version]; IBM [Programming System] 26 ff.; Pressmar [Einsatzmöglichkeiten] 241 ff.

⁴ Vgl. die Gegenüberstellung der Anzahl ganzzahliger Variablen in den Modellen von Manne und Bowman bei Hoss [Fertigungsablaufplanung] 136; Seelbach [Ablaufplanung] 15 f.; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 44 ff. und 71.

Merkmale	Produktionszeiten- modelle	Dynamische Produktionsmengen- modelle
Grundlegende Variablen	Fertigungszeiten Wartezeiten Leerzeiten	Einsatzmengen Ausbringungsmengen Absatzmengen Lagermengen
Bezugsgrößen der Binärvariablen	Auftragsfolgen je Produktiveinheit	Zeitintervalle
Behandlung des Produktionsprogramms	Auftragszahl und Losgrößen im einfachen Ansatz vorzugeben, im erweiterten Ansatz variabel	Modellvariable
Behandlung der Ausstattung mit Arbeitskräften und Anlagen	Vorzugeben	Behandlung als Modellvariablen möglich
Behandlung der Arbeitsverteilung	Vorzugeben	Behandlung als Modellvariable möglich
Behandlung der Leistungsbestimmung	Behandlung als Modellvariable möglich	Behandlung als Modellvariable möglich
Behandlung der Art der Produktweitergabe	In der Regel geschlossene Produktion	Eher für offene Produktion, andere Typen näherungsweise möglich
Anwendbarkeit auf Vergenztypen	Anwendbar auf glatte Stückprozesse	Anwendbar auf alle Typen von Stückprozessen
Abbildung von Organisationsarten der Fertigung	Mittelbar über Definition der Reihenfolgevariablen	Unmittelbar über Arbeitseinsatzmatrix
Abbildung der Losgrößen	Unmittelbar	Mittelbar
Abbildung der Gangfolgen	Unmittelbar	Mittelbar
Numerische Lösbarkeit	Begrenzt auf einfache Probleme	Begrenzt auf einfache Probleme

Abb. 18: Vergleichende Gegenüberstellung der wichtigsten Merkmale von Produktionszeiten- und Produktionsmengenmodellen

ser geeignete Basis dar, weil in der Produktionstheorie die Beziehungen zwischen zeitlich bestimmten Gütermengen untersucht werden. Die zeitliche Verteilung von Einsatz-, Ausbringungs-, Absatz- und Lagermengen kann in dynamischen Produktionsmengenmodellen mit diskreten Zeitintervallen unmittelbar wiedergegeben werden. In Produktionszeitenmodellen lässt sie sich erst mittelbar aus den Warte- und Fertigungszeiten bestimmen. Ein wichtiger Mangel der Produktionszeitenmodelle besteht im Hinblick auf den Gegenstand dieser Arbeit in der Voraussetzung einer vorgegebenen Arbeitsverteilung sowie glatter Stückprozesse. Daher bilden Produktionsmengenmodelle eine umfassendere Basis für die Analyse organisatorischer Tatbestände und für die Abbildung der Interdependenzen zwischen produktionstheoretischen und organisatorischen Tatbeständen. Aus diesen Gründen wird das als dynamisches Input-Output-Modell entwickelte Produktionsmengenmodell der weiteren Untersuchung zu grunde gelegt.

Produktionszeitenmodelle lassen sich vor allem im Rahmen sukzessiver Planungsprozesse anwenden. Bei glatten Stückprozessen sind sie ein aussagefähiges Instrument, um die zeitliche Struktur des Produktionsprozesses für die in vorausgehenden Planungsschritten festgelegten Einsatz- und Ausbringungsmengen, Losgrößen und Arbeitsverteilungen abzubilden.

Zum Überblick sind die Ausprägungen der wichtigsten Vergleichsmerkmale von Produktionszeiten- und Produktionsmengenmodellen in Abbildung 18 auf Seite 144 zusammengefaßt.

II. Abbildung der Interdependenzen zwischen Gütereinsatz, Produktionsprogramm und Produktionsablauf in Produktionsmengenmodellen

Für die Abbildung und Analyse der Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und der Organisation des Produktionsprozesses werden Produktionsmengenmodelle entwickelt, die zum einen auf den in Abschnitt B formulierten dynamischen Input-Output-Modellen basieren. Zum anderen werden in ihnen wichtige Elemente von Produktionsplanungsmodellen übernommen, die von Dietrich Adam¹, Werner Dinkelbach² und Dieter B. Pressmar³ vorgeschlagen worden sind. Diese Produktionsmengenmodelle erfassen die Beziehungen

¹ Adam [Ablaufplanung] 233 ff.; Adam [Produktionsplanung] 152 ff. Vgl. auch die eng verwandten Ansätze bei Lanzenauer [Produktionsprozeß] 79 ff.; Lanzenauer [Lagerhaltung] 33 ff.

² Dinkelbach [Produktionsplanung] 58 ff. Eine Verfeinerung des Modells der einstufigen Fertigung sowie einen heuristischen Lösungsalgorithmus für diesen Fall hat Dellmann entwickelt. Dellmann [Entscheidungsmodelle] 151 ff. Zur vergleichenden Analyse der Ansätze von Adam und Dinkelbach vgl. Schneiderhan [Abstimmung] 19 ff.

³ Pressmar [Modelle] 462 ff.; Pressmar [Einsatzmöglichkeiten] 226 ff.

zwischen den eingesetzten, hergestellten, gelagerten und abgesetzten Gütermengen eines Betrachtungs- oder Planungszeitraums, der in $t = 1, \dots, T$ diskrete Zeitintervalle unterteilt ist.

Die Variablen der Produktionsmengenmodelle beziehen sich jeweils auf ein Intervall. Deshalb muß die Zahl der Intervalle innerhalb des Betrachtungszeitraums vorgegeben sein. Um die Bedeutung der Intervalle als Bezugsgrößen der Variablen hervorzuheben, werden die Intervallindices t bei den Variablen der Produktionsmengenmodelle hochgestellt geschrieben.

Von grundlegender Bedeutung für den Ansatz ist die Annahme, daß Änderungen des Produktionszustands nur an den Intervalleinschnitten erfolgen können⁴. Der Produktionszustand „Fertigung einer Produktart durch eine Produktiveinheit“ kann dabei innerhalb eines Intervalls die Umrüstung der Produktiveinheit, die Bearbeitung der Produkte und eine Leerzeit umfassen. Ferner wird unterstellt, daß jede Produktiveinheit in jedem Intervall höchstens eine Produktart bearbeiten kann. Die qualitative und quantitative Leistungsfähigkeit der Produktiveinheiten ist beschränkt. Aus den (Zwischen- oder End-)Produkten, die einer Produktiveinheit zugeordnet werden können, ergibt sich ihre qualitative Leistungsfähigkeit. Dagegen kommt die quantitative Leistungsfähigkeit in der Anzahl von Produkteinheiten zum Ausdruck, die eine Produktiveinheit je Zeiteinheit bzw. je Zeitintervall von einer Produktart herstellen kann. Die Zahl und Struktur der im Produktionsprozeß verwendbaren Produktiveinheiten ist vorgegeben und während des Betrachtungszeitraums konstant. Auch die Dauer der Rüstprozesse ist gegeben. Darüber hinaus wird unterstellt, daß die Operationenfolgen für jeden Stückprozeß sowie die möglichen Intensitätsgrade der Produktiveinheiten und die Stückzeiten je Intensitätsgrad vorgegeben und konstant sind. Beschränkungen der Lagerkapazität sowie störungs-, erholungs- und persönlich bedingte⁵ Unterbrechungen der Tätigkeiten in den Produktiveinheiten werden zur Begrenzung der Komplexität des Ansatzes nicht einbezogen.

1. Kennzeichnung der Struktur von Produktionsmengenmodellen der Produkte

Maßgebend für den Vollzug des Produktionsprozesses ist die Herstellung der Zwischen- und Endprodukte. Deshalb werden im ersten Abschnitt Produktionsmengenmodelle der Produkte formuliert. Sie stellen die Grundlage zur Analyse der Strukturmerkmale des produktions- und organisationstheoretischen Aussagensystems sowie zur Analyse unterschiedlicher Programm-, Organisations- und Vergenztypen dar.

⁴ Pressmar [Modelle] 464.

⁵ Zu dieser Unterscheidung vgl. REFA [Arbeitsstudium 2] 41 ff.

a) Grundlegende Elemente eines dynamischen Produktionsmengenmodells des Produktionsablaufs

Den Kern der dynamischen Produktionsmengenmodelle bilden die Grundgleichungen B.23, B.25 oder B.28 des dynamischen Input-Output-Ansatzes⁶. Für die Bearbeitungsprozesse werden hier lediglich die Fälle der offenen Produktion sowie der intervallweisen Weitergabe bearbeiteter Produkte unterstellt. Zur besseren Übersichtlichkeit werden die Herstellungsmengen der Zwischen- oder Endproduktarten p bzw. $q = 1, \dots, P$ mit p_p^t bzw. p_q^t bezeichnet. Sie stellen eine Teilmenge der Ausbringungsmengen r_i^t bzw. r_j^t sämtlicher Güterarten i bzw. $j = 1, \dots, J$ dar.

Im Fall offener Produktion, bei der die Verweilzeiten θ weniger als ein Intervall betragen und daher gleich Null gesetzt werden, ergeben sich aus den Grundgleichungen B.23 die Produktgleichungen C.22:

$$p_p^t = \sum_{q=1}^P f_{pq}^\theta (\dots) \cdot p_q^t + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.22})$$

Bei intervallweiser Weitergabe der Produkte werden Verweilzeiten $\theta = 1$ für alle Prozesse und Produkte unterstellt. Aus den Grundgleichungen B.25 erhält man die Produktgleichungen C.23:

$$p_p^t = \sum_{q=1}^P f_{pq}^1 (\dots) \cdot p_q^{t+1} + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.23})$$

Für die Herstellungsvariablen p_p^t , die Absatzvariablen x_p^t und die Lagerbestandsvariablen l_p^t der Produktarten p in den Intervallen t gelten die Nichtnegativitätsbedingungen C.24:

$$p_p^t, x_p^t, l_p^t \geq 0 \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.24})$$

Die Abbildung der Organisationstatbestände des Produktionsvollzugs erfolgt mit Hilfe der am Ende von Abschnitt B eingeführten intervallbezogenen Zuordnungsvariablen z_p^t ⁷. Diese Binärvariablen nehmen lediglich dann den Wert Eins an, wenn die Produktart p im Intervall t gefertigt wird. In allen anderen Fällen ist ihr Wert Null. Das einfache *Grundmodell* beruht auf der Prämissen, daß jede Produktiveinheit mit einem (durchschnittlich) konstanten Intensitätsgrad arbeitet und jede (Zwischen- oder End-)Produktart nur von einer Produktiveinheit erzeugt werden kann. Somit wird die Arbeitsverteilung als vorgegeben unterstellt. Lediglich die Gangfolgen und die Losgrößen gehören neben den Herstellungs-, Lager- und Absatzmengen zu den Modellvariablen.

⁶ Vgl. Seite 84 ff.

⁷ Vgl. Seite 120.

Die von einer Produktiveinheit m im Intervall t hergestellte Produktmenge p_p^t der p -ten Produktart kann nur dann größer als Null sein, wenn die zugehörige Zuordnungsvariable z_p^t den Wert Eins annimmt. Es muß also eine Beziehung zwischen den Herstellungsmengen in den Produktgleichungen C.22 bzw. C.23 und den Zuordnungsvariablen ausgedrückt werden. Sofern von der p -ten (Zwischen- oder End-)Produktart im Intervall t höchstens Q_p^t Produkteinheiten gefertigt werden können, läßt sich die Beziehung zwischen der Herstellungsmenge p_p^t und der Zuordnungsvariablen z_p^t durch die Nebenbedingung C.25 wiedergeben:

$$p_p^t \leq z_p^t \cdot Q_p^t \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.25})$$

Die Nebenbedingung C.25 stellt sicher, daß die Herstellungsmenge von Produktart p im Intervall t gleich Null ist, sofern $z_p^t = 0$ gilt. Nimmt dagegen die Zuordnungsvariable z_p^t den Wert Eins an, so kann die Herstellungsmenge p_p^t die Intervallkapazität Q_p^t der Produktiveinheit m nicht überschreiten.

Die Gangfolgen, die Auflegungshäufigkeit und die Losgrößen werden durch die Werte der Zuordnungsvariablen z_p^t und der Herstellungsmengenvariablen p_p^t bestimmt. Bei jeder Produktiveinheit entsprechen die Losgrößen der Summe aus den Herstellungsmengen unmittelbar aufeinanderfolgender Intervalle, in denen die Werte der Zuordnungsvariablen für dieselbe Produktart gleich Eins sind. Werden beispielsweise von einer Produktiveinheit m drei Produktarten $p = 1, 2, 3$ erzeugt, so können die in Abbildung 19 wiedergegebenen Gangfolgen, Auflegungszahlen und Losgrößen vorliegen.

Die Zuordnungsvariablen z_p^t dürfen lediglich die Werte Null oder Eins annehmen. Ihr Wertebereich wird einerseits durch die Ganzzahligkeitsbedingungen C.26 und die Nichtnegativitätsbedingungen C.27 begrenzt:

$$z_p^t \text{ ganzzahlig} \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.26})$$

$$z_p^t \geq 0 \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.27})$$

Andererseits wird er durch „Maschinenbelegungsbedingungen“ beschränkt. Diese bilden die Voraussetzung ab, daß jede Produktiveinheit in jedem Intervall höchstens eine Produktart bearbeiten kann. Auf jeder Produktiveinheit m kann lediglich eine bestimmte Teilmenge P_m aller Produktarten erzeugt werden. Deshalb lauten die Maschinenbelegungsbedingungen:

$$\sum_{p \in P_m} z_p^t \leq 1 \quad \text{für alle } m, t \quad (\text{C.28})$$

Erzeugt eine Produktiveinheit nacheinander verschiedenartige Produkte, so muß sie in der Regel umgerüstet werden. Im Grundmodell wird davon ausgegangen, daß die Zeitdauern und die Kosten der Rüstprozesse reihenfolgeunabhängig sind. Für die Umrüstung der Produktiveinheit m auf die Produktart p

Intervall		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zuordnungsvariablen:	Produkt 1 z_1^t	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
	Produkt 2 z_2^t	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Produkt 3 z_3^t	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0
Herstellungsmenge:	Produkt 1 p_1^t	0	0	0	10	15	10	0	0	0	0	15	15
	Produkt 2 p_2^t	20	30	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0
	Produkt 3 p_3^t	0	0	50	0	0	0	40	40	0	50	0	0
Losgrößen:		Produkt 1			35					40			30
Auflegungszahl:	Produkt 1			50	80					50			
	Produkt 2			50									
	Produkt 3												
Gangfolge:		2	3	1	3	2	3	1					

Abb. 19: Beispiel für Losgrößen, Auflegungszahlen und Gangfolgen einer Produktiveinheit

im Intervall t wird die Umrüstvariable u_p^t eingeführt. Sie muß im Falle einer Umrüstung (von m) auf p in t den Wert Eins annehmen und in allen anderen Fällen gleich Null sein. Negative Werte der Umrüstvariablen werden durch die Nichtnegativitätsbedingungen C.29

$$u_p^t \geq 0 \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.29})$$

ausgeschlossen. Die Werte der Umrüstvariablen lassen sich mit Hilfe der Zuordnungsvariablen bestimmen. Die Verbindung zwischen den Umrüstvariablen u_p^t und den Zuordnungsvariablen z_p^t kann zum Beispiel⁸ durch die Nebenbedingungen C.30a bis c hergestellt werden:

$$u_p^t \geq z_p^t - z_p^{t-1} \quad \text{für alle } p \text{ und } t \geq 1 \quad (\text{C.30a})$$

$$u_p^t \leq z_p^t \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.30b})$$

$$u_p^t \leq 1 - z_p^{t-1} \quad \text{für alle } p \text{ und } t \geq 1 \quad (\text{C.30c})$$

⁸ Zu anderen Möglichkeiten vgl. Joksch [Programme] 45; Adam [Ablaufplanung] 242 f.; Dinkelbach [Produktionsplanung] 63 ff.; Lanzenauer [Produktionsprozeß] 50 ff.; Lanzenauer [Modell] 108.

Die Kombinationsmöglichkeiten für die Werte der Zuordnungsvariablen z_p^t und z_p^{t-1} sowie die aus den Nebenbedingungen C.30 folgenden Werte der Umrüstvariablen u_p^t sind in Abbildung 20 aufgeführt. Danach nimmt die Umrüstvariable u_p^t genau dann den Wert Eins an, wenn im Intervall t die Produktart p erzeugt wird ($z_p^t = 1$) und im vorausgehenden Intervall $t - 1$ diese Produktart nicht gefertigt worden ist ($z_p^{t-1} = 0$). Die Werte der Umrüstvariablen sind stets ganzzahlig, ohne daß ihre Ganzhaftigkeit zusätzlich gefordert werden muß.

Fall	z_p^t	z_p^{t-1}	$u_p^t \geq z_p^t - z_p^{t-1}$ (C. 30a)	$u_p^t \leq z_p^t$ (C. 30b)	$u_p^t \leq 1 - z_p^{t-1}$ (C. 30c)	$u_p^t =$
I	1	0	$u_p^t \geq 1$	$u_p^t \leq 1$	$u_p^t \leq 1$	1
II	1	1	$u_p^t \geq 0$	$u_p^t \leq 1$	$u_p^t \leq 0$	0
III	0	0	$u_p^t \geq 0$	$u_p^t \leq 0$	$u_p^t \leq 1$	0
IV	0	1	$u_p^t \geq -1$	$u_p^t \leq 0$	$u_p^t \leq 0$	0

Abb. 20: Kombinationsmöglichkeiten für die Bestimmung der Werte der Umrüstvariablen aus den Werten der Zuordnungsvariablen

Ist die Umrüstvariable in der Zielfunktion mit negativem Gewicht enthalten, kann auf die beiden Nebenbedingungen C.30b und c verzichtet werden. Dann reicht nach dem Vorschlag von Dinkelbach⁹ die Nebenbedingung C.30a aus. Bei negativer Gewichtung der Umrüstvariablen in der Zielfunktion wird stets ihr kleinstes zulässiger Wert gewählt. Dieser ist aufgrund der Nebenbedingung C.30a sowie der Nichtnegativitätsbedingung C.29 im Fall I von Abbildung 20 gleich Eins und in den Fällen II bis IV gleich Null¹⁰.

b) Alternativen der Modellformulierung

Die Struktur des dynamischen Produktionsmengenmodells der Produkte wird vor allem von zwei Tatbeständen bestimmt: (1) von der Art der Transformationsfunktionen, die den Verbrauch an Zwischenprodukten je Teilprozeß

⁹ Dinkelbach [Produktionsplanung] 56 f.; vgl. auch Adam [Produktionsplanung] 162 f. Adam formuliert auch Nebenbedingungen für den Fall, daß die Umrüstvariablen in der Zielfunktion positiv gewichtet sind.

¹⁰ Steht die Produktiveinheit m in einem Intervall $t = 2$ leer und erzeugt sie in den beiden angrenzenden Intervallen $t = 1$ bzw. $t = 3$ dieselbe Produktart p , so wird eine „fiktive“ Umrüstung verhindert, indem die Zuordnungsvariable für p im Intervall 2 den Wert Eins annimmt, die zugehörige Herstellungsmenge von p in $t = 2$ jedoch Null ist. Zu dieser Frage vgl. auch Adam [Produktionsplanung] 164.

sowie Produktart abbilden und (2) von der Behandlung der Intervalldauer als vorgegebene Größe oder als Modellvariable.

In das dynamische Input-Output-Modell können verschiedene Typen von *Transformationsfunktionen* eingesetzt werden. Für den Verbrauch an Werkstoffen besitzen Leontief-Funktionen einen hohen Bestätigungsgrad¹. Die mengenmäßigen Beziehungen zwischen Gütereinsatz und -ausbringung werden daher im Produktionsmengenmodell der Produkte durch konstante Produktionskoeffizienten α_{pq}^0 wiedergegeben. Diese geben an, welche Menge der p-ten Produktart zur Herstellung einer Einheit der q-ten Produktart verbraucht wird. Dynamische Transformationsfunktionen bilden auch die Beziehungen zwischen den Zeitpunkten des Gütereinsatzes und der Güterausbringung eines Teilprozesses ab. Maßgebend für die Zeitspanne zwischen Einsatz und Ausbringung sind die Stückzeiten, die Bereitstellungszeitpunkte der Werkstoffe und die Einsatzzeitpunkte. Bei offener Produktion stimmen die Bereitstellungs- und die Einsatzzeitpunkte der Werkstoffe weitgehend überein. Dagegen werden die Werkstoffe bei geschlossener Produktion jeweils für ein ganzes Fertigungslos bereitgestellt bzw. weitergegeben, während der Einsatz in konstanten Zeitabständen erfolgen kann. Eine Abbildung der Einsatzzeitpunkte jeder einzelnen Werkstoffeinheit sowie sämtlicher Möglichkeiten der Bereitstellung und Weitergabe von Werkstoffen führt zu einem äußerst komplexen Ansatz. Deshalb werden die Bereitstellungszeitpunkte approximativ mit den Einsatzzeitpunkten gleichgesetzt.

Als näherungsweise Abbildung der *offenen Produktion* werden entsprechend den allgemeinen Transformationsfunktionen B.22² für den Einsatz der Produktmenge p_{pq}^t von Produktart p im Intervall t zur Herstellung der Produktart q Leontief-Transformationsfunktionen der Art

$$p_{pq}^t = \alpha_{pq}^0 \cdot p_q^t \quad (C.31)$$

unterstellt³. Man geht davon aus, daß Güterbereitstellung, Gütereinsatz und Güterausbringung in demselben Intervall erfolgen. Die Zeitspanne zur Bearbeitung der einzelnen Produkteinheit wird vernachlässigt. Die mit diesem Funktionstyp verbundene Ungenauigkeit hängt von dem Verhältnis zwischen Stückzeiten und Intervalldauer, von der Zahl aufeinanderfolgender Arbeitsgänge, den Gangfolgen und den Zwischenlagerbeständen ab. Die mögliche Abweichung gegenüber der Realität kann an einem einfachen Beispiel verdeutlicht werden. Zur Herstellung eines Endproduktes mit glattem Stückprozeß sind nacheinander fünf Arbeitsgänge durchzuführen. Die Stückzeiten betragen in jedem Arbeitsgang 6 Minuten, die vorgegebene Intervalldauer 60 Minuten. Es gelten die Produktionskoeffizienten $\alpha_{pq}^0 = 1$. Einsatz- und Ausbringungsmengen

¹ Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 61.

² Vgl. Seite 84.

³ Vgl. Pressmar [Modelle] 467; Pressmar [Einsatzmöglichkeiten] 231.

stimmen in jedem Arbeitsgang überein. Wenn die Arbeitsgänge der betrachteten Endproduktart von allen fünf Produktiveinheiten in demselben Intervall durchgeführt werden, können nach den Transformationsfunktionen C.31 in einem Intervall $60 : 6 = 10$ Produkte alle fünf Arbeitsgänge durchlaufen. In Wirklichkeit werden bei Vernachlässigung der Rüstzeiten in einem Intervall entsprechend Abbildung 21 nur 6 Produkteinheiten ganz fertiggestellt, sofern keine Zwischenlagerbestände vorliegen. Die Fertigung kann nämlich im letzten Arbeitsgang erst nach 24 Minuten begonnen werden.

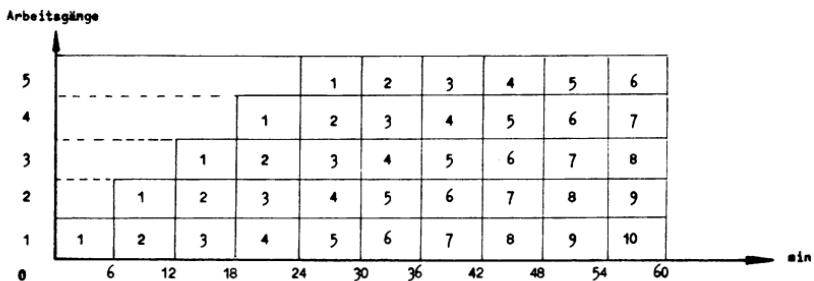


Abb. 21: Zeitliche Verschiebung zwischen den Arbeitsgängen bei offener Produktion

Eine exakte Erfassung der Stückzeiten bei offener Produktion erscheint in einem Modell mit intervallweiser Unterteilung des Betrachtungszeitraums äußerst kompliziert. Erschwerend ist vor allem, daß die zeitlichen Verzögerungen zwischen aufeinanderfolgenden Arbeitsgängen auch von den Zwischenlagerbeständen abhängen. Sind die Stückzeiten im Verhältnis zur Intervalldauer kurz, so erscheint der Präzisionsgrad der Transformationsfunktionen C.31 ausreichend. Zudem liegt offene Produktion insbesondere bei Fließfertigung vor. Hier sind die Zeitverzögerungen zwischen den Arbeitsgängen bei den auf einer Fertigungslinie erzeugten Endprodukten annähernd gleich lang. Deshalb kann bei diesem Organisationstyp die Ungenauigkeit dadurch vermindert werden, daß entsprechend einem Vorschlag von D. Adam⁴ die Intervallanfänge aufeinanderfolgender Arbeitsgänge zeitlich verschoben werden⁵.

Eine zweite Form des dynamischen Produktionsmengenmodells der Produkte ergibt sich, wenn man eine *Verweilzeit* zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung von *einem* Intervall annimmt. Dann ergeben sich aus den allgemeinen Transformationsfunktionen B.24⁶ die Leontief-Funktionen des Einsatzes an Zwischenprodukten C.32:

⁴ Adam [Interpretationen] 151 f.

⁵ Vgl. auch den Vorschlag zur Berücksichtigung von Vorlaufzeiten in Lagerbedingungen von Wiggert [Programmoptimierung] 71 ff.

⁶ Vgl. Seite 84.

$$p_{pq}^t = \alpha_{pq}^1 \cdot p_q^{t+1} \quad (C.32)$$

Dieser Typ von Transformationsfunktion wird als näherungsweise Abbildung einer Weitergabe von (kleinen) Teillosen interpretiert.

Die Transportdauer kann entweder bei offener Produktion in die Stückzeiten einbezogen oder bei der Weitergabe von Teillosen durch die Verweilzeit $\Theta = 1$ approximativ berücksichtigt werden. Eine Abbildung der losweisen Bereitstellung und Weitergabe von Werkstoffen erscheint ohne explizite Erfassung der *Transportprozesse* im Produktionsmengenmodell nicht möglich. Das Modell enthält dann auch Produktgleichungen und Transformationsfunktionen für Transportprozesse⁷. Die Zeitdauer der Transportprozesse kann entsprechend B.21⁸ in Leontief-Funktionen der Art C.33

$$p_{pq}^t = \alpha_{pq}^\theta \cdot p_q^{t+\theta} \quad (C.33)$$

als ganzzahliges Vielfaches Θ der Intervalldauer ausgedrückt werden. Dabei muß die Intervalldauer vorgegeben und konstant sein.

In den Transformationsfunktionen C.33 werden die Produkte vor und nach Durchführung des Transportprozesses als unterschiedliche Güterarten p und q bezeichnet. Die verweilzeitabhängigen Produktionskoeffizienten α_{pq}^θ sind bei Transportprozessen im Normalfall gleich Eins.

Die Ausprägung der in einem Produktionsmengenmodell zugrunde zu legenden Transformationsfunktionen C.31, C.32 oder C.33 richtet sich nach dem jeweiligen empirischen Betrachtungsgegenstand.

Ein zweites grundlegendes Merkmal zur Formulierung alternativer Produktionsmengenmodelle besteht in der Behandlung der *Intervalldauern*. Diese können zum einen im voraus festgelegt werden⁹. Aus Vereinfachungsgründen wählt man dann meist konstante Intervalldauern. Jedoch ist auch eine Vorgabe unterschiedlich langer Intervalle möglich¹⁰. Zum andern können die Intervalldauern als Modellvariablen behandelt werden¹¹. In diesem Fall ist lediglich die Anzahl der Intervalle im voraus festzulegen.

In Produktionsmengenmodellen mit gegebenen *konstanten Intervalldauern* ist die Kapazität Q_p^t der m-ten Produktiveinheit bei Fertigung der Produktart p in allen Intervallen gleich groß, da störungs-, erholungs- und persönlich be-

⁷ Zur Entwicklung dieses Ansatzes vgl. Seite 218 ff.

⁸ Vgl. Seite 83.

⁹ Diese Modellalternative wird verwendet bei Adam [Ablaufplanung] 236; Adam [Produktionsplanung] 152 ff.; Dinkelbach [Produktionsplanung] 58 ff.

¹⁰ Dinkelbach [Produktionsplanung] 59.

¹¹ Diese Modellalternative wird verwendet bei Dinkelbach [Produktionsplanung] 75 ff.; Pressmar [Modelle] 463 ff.; Pressmar [Einsatzmöglichkeiten] 229 ff.

dingte Unterbrechungen nicht einbezogen werden und eine konstante Struktur der Produktiveinheiten unterstellt wird. Deshalb gilt:

$$Q_p^t = Q_p \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C. 34})$$

Die Herstellungsmenge p_p^t hängt davon ab, (1) ob die Produktart p im Intervall t erzeugt wird und somit $z_p^t = 1$ ist, (2) welcher Anteil der Intervalldauer d^t zur Umrüstung benötigt wird und (3) inwieweit die Intervallkapazität ausgelastet wird. Bezeichnet man die Dauer der Umrüstung von Produktiveinheit m auf die Produktart p mit h_p , so entfällt auf die Umrüstung ein Anteil von

$$H_p = \frac{h_p}{d^t} \quad (\text{C. 35})$$

an der Intervallkapazität Q_p . Des weiteren gibt die „Leerzeitvariable“ v_p^t den relativen Anteil der Intervallkapazität Q_p an, der weder zur Bearbeitung der Produktart p noch zur Umrüstung genutzt wird. Mit Hilfe der Zuordnungs-, der Umrüst- und der Leerzeitvariablen kann die Nebenbedingung C.25 nach Adam¹² in die Bestimmungsgleichung der Herstellungsmengen C.36 überführt werden:

$$p_p^t = (z_p^t - u_p^t \cdot H_p - v_p^t) \cdot Q_p \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C. 36})$$

Da die Leerzeitvariablen v_p^t und der Produktionsausfall für Umrüstung $u_p^t \cdot H_p$ als relative Anteile der Intervallkapazität definiert sind, können beide Glieder von C.36 nicht größer als Eins sein. Darüber hinaus können sie nur in den Fällen einen Wert größer als Null annehmen, in denen $z_p^t = 1$ gilt. Dieser Zusammenhang wird durch die Nebenbedingung C.37

$$v_p^t \leq z_p^t - u_p^t \cdot H_p \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C. 37})$$

in Verbindung mit den Umrüstbedingungen C.30a erfaßt. Ferner dürfen auch die Leerzeitvariablen keine negativen Werte annehmen

$$v_p^t \geq 0 \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C. 38})$$

Legt man eine Verweilzeit von einem Intervall zwischen Einsatz und Ausbringung zugrunde, so sind die Transformationsfunktionen C.32 und die Bestimmungsgleichungen C.36 der Herstellungsmengen in die Produktgleichungen C.23 einzusetzen. Dann erhält man die Produktgleichungen C.39 der Zwischen- und Endprodukte:

$$\begin{aligned} l_p^t &= (z_p^t - u_p^t \cdot H_p - v_p^t) \cdot Q_p \\ &= \sum_{q=1}^P \alpha_{pq}^1 \cdot (z_q^{t+1} - u_q^{t+1} \cdot H_q - v_q^{t+1}) \cdot Q_q \\ &\quad + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad \text{für alle } p, t \end{aligned} \quad (\text{C. 39})$$

¹² Adam [Produktionsplanung] 157.

Die Produktgleichungen C.39 konstituieren zusammen mit den Nebenbedingungen C.37 der Leerzeitvariablen, den Umrüstbedingungen C.30a, den Maschinenbelegungsbedingungen C.28 sowie den Nichtnegativitätsbedingungen C.24, C.27, C.29 und C.38 für sämtliche Variablen das *Grundmodell* bei einer Verweilzeit von einem Intervall und vorgegebenen konstanten Intervalldauern. Dieses Modell gibt die Gesamtheit der Beziehungen zwischen den Herstellungs-, Lager- und Absatzmengen der Produkte sowie den Gangfolgen und Losgrößen wieder.

Die Struktur dieses Aussagensystems wird deutlich, wenn man die Produktgleichungen in Matrizenform anschreibt und die einzelnen Matrizen ökonomisch interpretiert. Dabei kann auf die allgemeine Kennzeichnung dynamischer Input-Output-Modelle in den Abschnitten B.II und B.III^{13, 14} zurückgegriffen werden.

Wichtige vorgegebene Bestimmungsgrößen des Produktionsmengenmodells sind die Vergenz des Objektflusses, die Operationenfolgen der Stückprozesse, die Intervallkapazitäten der Produktiveinheiten und die bei Umrüstungen benötigten Kapazitätsanteile. Innerhalb der zerlegten Strukturmatrix S^* wird die Vergenz des Objektflusses aus der Produktverflechtungsmatrix S_{pp} ersichtlich. Ersetzt man die Einselemente in der Produktverflechtungsmatrix S_{pp} durch die Produktionskoeffizienten α_{qp}^1 , so gelangt man zur Direktverbrauchsmatrix F_{pp} der Produkte. Diese gibt die direkten Mengenbeziehungen zwischen den Produktarten wieder und ist für die Produktarten p bzw. $q = 1, \dots, P$ allgemein wie folgt aufgebaut:

$$F_{pp} = \begin{bmatrix} \alpha_{11}^1 & \alpha_{12}^1 & \dots & \alpha_{1P}^1 \\ \alpha_{21}^1 & \alpha_{22}^1 & \dots & \alpha_{2P}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{P1}^1 & \alpha_{P2}^1 & \dots & \alpha_{PP}^1 \end{bmatrix} \quad (\text{C. 40})$$

Die Operationenfolgen der Stückprozesse ergeben sich aus der Produktverflechtungsmatrix S_{pp} sowie der Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} . Die Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} schlägt sich in einer Matrix Q nieder, die sich aus den Koeffizienten Q_{pm} der Intervallkapazitäten bilden lässt. Diese Koeffizienten geben an, welche Produktmenge die m -te Produktiveinheit pro Intervall herstellen kann, wenn sie die p -te Produktart fertigt. Allgemein besitzt diese Matrix Q bei P Produktarten und M Produktiveinheiten die Struktur:

^{13, 14} Vgl. Seite 58 ff. und Seite 101 ff.

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1M} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{P1} & Q_{P2} & \dots & Q_{PM} \end{bmatrix} \quad (C.41)$$

Die Intervallkapazitäten Q_{pm} sind nur dann größer als Null, wenn die p-te Produktart von der m-ten Produktiveinheit hergestellt wird. Deshalb gibt die „Kapazitätsmatrix“ Q die Zuordnung der Produktarten zu den Produktiveinheiten wieder. Ihre Transponierte Q' weist dieselbe Zeilen- und Spaltenzahl wie die Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} auf. Darüber hinaus ist Q' genau an den Stellen mit positiven Elementen Q_{pm} besetzt, an denen in S_{MP} Einserelemente auftreten. Somit bildet die Kapazitätsmatrix Q in Verbindung mit der Direktverbrauchsmatrix der Produkte F_{PP} die Operationenfolgen ab. Ferner kann man bei entsprechender Zeilen- und Spaltenanordnung durch ihren Aufbau den Organisationstyp der Fertigung wiedergeben. Aufgrund der Prämissen des Grundmodells, daß jede Operation eines Stückprozesses lediglich von einer Produktiveinheit durchgeführt werden kann, ist in jeder Zeile von Q genau ein Element ungleich Null. Deshalb kann die Matrix Q in diesem Fall durch eine Diagonalmatrix Q^* ersetzt werden, deren Hauptdiagonale entsprechend C.42 mit den Elementen Q_1, Q_2, \dots, Q_p besetzt ist:

$$Q^* = \begin{bmatrix} Q_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Q_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & Q_p \end{bmatrix} \quad (C.42)$$

Analog können die Anteile der Intervallkapazitäten, die für die Durchführung von Rüstprozessen benötigt werden, in einer „Rüstanteilsmatrix“ H^* zusammengefaßt werden. Bei vorgegebener Arbeitsverteilung läßt sie sich ebenfalls als Diagonalmatrix anschreiben. Deren Hauptdiagonale ist entsprechend C.43 mit den Elementen $H_p Q_p$ besetzt:

$$H^* = \begin{bmatrix} H_1 Q_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & H_2 Q_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & H_p Q_p \end{bmatrix} \quad (C.43)$$

Ordnet man die Zuordnungsvariablen z_p^t , die Umrüstvariablen u_p^t und die Leerzeitvariablen v_p^t eines Intervalls t für sämtliche Produktarten $p = 1, \dots, P$

zu den Vektoren z^t , u^t sowie v^t an, so bilden die Produktgleichungen C.39 in jedem Intervall ein Gleichungssystem der Art C.44:

$$\{ p^t = Q^* \cdot (z^t - v^t) - H^* \cdot u^t = F_{PP} \cdot [Q^* \cdot (z^{t+1} - v^{t+1}) - H^* \cdot u^{t+1}] + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad (C.44)$$

Die Vektoren x_p^t und l_p^t geben die Absatzmengen bzw. die Lagerendbestände der $p = 1, \dots, P$ Produktarten an.

Für den gesamten Betrachtungszeitraum müssen insgesamt $T + 1$ Gleichungssysteme der Art C.44 aufgestellt werden. Entsprechend den Untersuchungen in Abschnitt B.IIc ergibt sich für das Grundmodell mit einer Verweilzeit von einem Intervall und konstanten Intervalldauern das Input-Output-Modell C.45¹⁵. Aus ihm ist deutlich ersichtlich, daß die Kapazitäten der Produktiveinheiten und die Rüstzeiten während des gesamten Betrachtungszeitraums als konstant unterstellt werden. Das Gleichungssystem C.45 stellt die Weiterführung des in Abschnitt B entwickelten produktionstheoretischen Ansatzes B.39 unter Einbeziehung von Losgrößen- und Reihenfolgeproblemen dar.

$$Q^* \cdot \begin{bmatrix} c \\ z^1 - v^1 \\ z^2 - v^2 \\ \vdots \\ z^{T-1} - v^{T-1} \\ z^T - v^T \end{bmatrix} - H^* \cdot \begin{bmatrix} o \\ u^1 \\ u^2 \\ \vdots \\ u^{T-1} \\ u^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E & F_{PP} & F_{PP}^2 & \dots & F_{PP}^{T-1} & F_{PP}^T \\ 0 & E & F_{PP} & \dots & F_{PP}^{T-2} & F_{PP}^{T-1} \\ 0 & 0 & E & \dots & F_{PP}^{T-3} & F_{PP}^{T-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & E & F_{PP} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & E \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c + l_p^O - l_p^O \\ x_p^1 + l_p^1 - l_p^O \\ x_p^2 + l_p^2 - l_p^1 \\ \vdots \\ x_p^{T-1} + l_p^{T-1} - l_p^{T-2} \\ x_p^T + l_p^T - l_p^{T-1} \end{bmatrix}. \quad (C.45)$$

Der Übergang zum Grundmodell mit *variablen Intervalldauern* wird erkennbar, wenn man die Beziehungen zwischen den in Produkteinheiten gemessenen Intervalldauern und den Intervalldauern d^t berücksichtigt. Die Herstellung der p -ten Produktart wird (von der m -ten Produktiveinheit) mit einer konstanten Produktionsgeschwindigkeit von ρ_p Stück je Zeiteinheit durchgeführt. Die in Produkteinheiten gemessene Intervalldauer Q_p^t ergibt sich daher durch Multiplikation der Produktionsgeschwindigkeit mit der Intervalldauer:

$$Q_p^t = \rho_p \cdot d^t \quad (C.46)$$

Bei variablen Intervalldauern sind die Intervalldauern Q_p^t nicht für alle Intervalle gleich. Setzt man den Ausdruck $\rho_p \cdot d^t$ anstelle der Koeffizienten Q_p in die Produktgleichungen C.39 ein, so ergeben sich die Gleichungen C.47:

¹⁵ In ihm bezeichnen \tilde{l}_p^0 die Lagerbestände zu Beginn des Betrachtungszeitraums und \tilde{l}_p^0 die zu Beginn des ersten Intervalls nicht disponierten Bestände. Vgl. Seite 84 f.

$$(z_p^t - u_p^t \cdot H_p - v_p^t) \cdot \rho_p \cdot d^t = \sum_{q=1}^P \alpha_{pq}^1 \cdot (z_q^{t+1} - u_q^{t+1} \cdot H_q - v_q^{t+1}) \cdot \rho_q \cdot d^{t+1} + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad (C.47)$$

In der Form von C.47 umfassen die Produktgleichungen den Fall konstanter Intervalldauern wie den Fall variabler Intervalldauern. Sind die Intervalldauern d^t variabel, dann muß die „Intervalldauer- oder Intervallzeitbeschränkung“ C.48¹⁶

$$\sum_{t=1}^T d^t \leq D \quad (C.48)$$

eingeführt werden, in der D die Dauer des Betrachtungszeitraums bezeichnet.

Die Produktgleichungen C.47 sind bei variablen Intervalldauern d^t nichtlinear. Das Produktionsmengenmodell kann aber in ein System linearer Gleichungen und Ungleichungen überführt werden. Die Zeitdauer d_p^t , während der im Intervall t die p-te Produktart gefertigt wird, lässt sich gemäß Gleichung C.49 bestimmen:

$$d_p^t = (z_p^t - u_p^t \cdot H_p - v_p^t) \cdot d^t \quad (C.49)$$

Führt man die Fertigungszeit d_p^t als Variable ein, so erhält man anstelle von C.47 die linearen Produktgleichungen C.50:

$$[p_p^t =] d_p^t \cdot \rho_p = \sum_{q=1}^P \alpha_{pq}^1 \cdot \rho_q \cdot d_q^{t+1} + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad (C.50)$$

für alle p, t

In dieser Form enthalten die Produktgleichungen nicht mehr wie in C.39 und C.47 die Abhängigkeit der Herstellungsmengen von den Zuordnungsvariablen z_p^t . Deshalb müssen bei variablen Intervalldauern die Nebenbedingungen C.51¹⁷

$$d_p^t \leq z_p^t \cdot D \quad \text{für alle } p, m, t \quad (C.51)$$

sicherstellen, daß die Fertigungszeit d_p^t nur dann größer als Null sein kann, wenn die Produktart p von der Produktiveinheit m im Intervall t erzeugt wird und somit $z_p^t = 1$ gilt. Die Nebenbedingungen C.37 für die Leerzeitvariablen v_p^t gehen wegen der Definitionsgleichungen C.49 für die Fertigungszeitvariablen d_p^t in Nichtnegativitätsbedingungen dieser Variablen über. Anstelle der Bedingungen C.37

¹⁶ Vgl. Dinkelbach [Produktionsplanung] 77; Pressmar [Modelle] 466.

¹⁷ Dinkelbach [Produktionsplanung] 77.

$$z_p^t - u_p^t \cdot h_p - v_p^t \geq 0$$

müssen die Nichtnegativitätsbedingungen

$$(z_p^t - u_p^t \cdot h_p - v_p^t) \cdot d_p^t = d_p^t \geq 0 \quad \text{für alle } p, t \quad (C.52)$$

erfüllt werden. Dafür treten an die Stelle der Nichtnegativitätsbedingungen der Leerzeitvariablen C.38 die Kapazitätsbedingungen¹⁸ C.53:

$$\sum_{p \in P_m} d_p^t + \sum_{p \in P_m} u_p^t \cdot h_p \leq d_t \quad \text{für alle } m, t \quad (C.53)$$

In C.53 gibt h_p die Rüstzeit an. Durch Umformung von C.53 lässt sich die Leerzeit von Produktiveinheit m als Differenz zwischen der Intervalldauer und der Summe aus Fertigungs- und Rüstzeit ermitteln. Zugleich wird deutlich, daß diese Leerzeit aufgrund der Nebenbedingungen C.53 nicht negativ werden kann¹⁹:

$$d_t - (\sum_{p \in P_m} d_p^t + \sum_{p \in P_m} u_p^t \cdot h_p) = \sum_{p \in P_m} v_p^t \cdot d_t \geq 0$$

Neben der Intervalldauerbeschränkung C.48, den Produktgleichungen C.50, den Nebenbedingungen C.51 für die Beziehungen zwischen Zuordnungs- und Fertigungszeitvariablen sowie den Kapazitätsbedingungen C.53 müssen auch im Grundmodell mit variablen Intervalldauern die Ganzzahligkeitsbedingungen der Zuordnungsvariablen C.26

$$z_p^t \quad \text{ganzzahlig} \quad \text{für alle } p, t$$

die Maschinenbelegungsbedingungen C.28

$$\sum_{p \in P_m} z_p^t \leq 1 \quad \text{für alle } m, t$$

die Umrüstbedingungen C.30a

$$u_p^t \geq z_p^t - z_p^{t-1} \quad \text{für alle } p, t$$

sowie die Nichtnegativitätsbedingungen

$$z_p^t, u_p^t, d_p^t, l_p^t, x_p^t \geq 0 \quad \text{für alle } p, t \quad (C.54)$$

eingehalten werden.

Um die Struktur des Systems der Produktgleichungen C.50 zu verdeutlichen, kann dieses Gleichungssystem wie in C.44 für das Grundmodell mit konstanten Intervalldauern in Matrixschreibweise angegeben werden. Charakteristisch

¹⁸ Pressmar [Modelle] 466.

¹⁹ Es ist zu beachten, daß v_p^t den *relativen* Anteil der Leerzeit angibt.

für das Grundmodell mit variablen Intervalldauern ist die Verwendung der Fertigungszeitvariablen d_p^t . Diese können zu einem Vektor d^t für die Fertigungszeiten sämtlicher Produktarten $p = 1, \dots, P$ im Intervall t zusammengefaßt werden. An die Stelle der Kapazitätsmatrix Q tritt bei variablen Intervalldauern eine Diagonalmatrix F_{PD} , die aus den Koeffizienten der Produktionsgeschwindigkeiten ρ_p gebildet wird. Unter Verwendung des Vektors d^t und der Matrix F_{PD} ergeben die Produktgleichungen C.50 für jedes Intervall t ein System von Gleichungen der Art C.55:

$$\begin{bmatrix} p_1^t \\ p_2^t \\ \vdots \\ p_P^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \rho_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \rho_P \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1^t \\ d_2^t \\ \vdots \\ d_P^t \end{bmatrix}$$

$$p^t = F_{PD} \cdot d^t$$

$$\begin{aligned} &= \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1P} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{P1} & \alpha_{P2} & \dots & \alpha_{PP} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \rho_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \rho_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \rho_P \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1^{t+1} \\ d_2^{t+1} \\ \vdots \\ d_P^{t+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1^t \\ x_2^t \\ \vdots \\ x_P^t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1^t \\ l_2^t \\ \vdots \\ l_P^t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_1^{t-1} \\ l_2^{t-1} \\ \vdots \\ l_P^{t-1} \end{bmatrix} \\ &= F_{PP} \cdot F_{PD} \cdot d^{t+1} + x^t + l^t - l^{t-1} \end{aligned} \quad (\text{C.55})$$

Die Umrüstvariablen sowie die Rüstzeiten sind in diesem Gleichungssystem nicht enthalten. Sie erscheinen dagegen im System der Kapazitätsbedingungen C.53.

c) Erweiterungsmöglichkeiten der Grundmodelle

Wichtige Erweiterungen der Grundmodelle bilden die Berücksichtigung mehrerer Intensitätsgrade je Produktiveinheit, variabler Arbeitsverteilungen, reihenfolgeabhängiger Rüstzeiten sowie von Ausschußproduktion. Sie werden im folgenden für den Fall *offener* Produktion am Grundmodell mit *variablen Intervalldauern* gekennzeichnet. Man kann sie aber ohne Schwierigkeiten auf den Fall intervallweiser Weitergabe der Produkte sowie auf das Grundmodell mit vorgegebenen konstanten Intervalldauern übertragen.

Bei *variablen Intensitäten*¹ wird angenommen, daß einzelne oder alle Produktiveinheiten mit mehreren konstanten Intensitätsgraden $\delta = 1, \dots, \Delta$ arbeiten können². Ist die Intensität kontinuierlich variierbar, wählt man einzelne Inten-

¹ Zu dieser Erweiterung vgl. Pressmar [Modelle] 465 ff.

² Albach [Produktionsplanung] 64; Jacob [Produktionsplanung] 249 ff.

sitätsgrade zur Approximation aus³. Jedem Intensitätsgrad δ der m-ten Produktiveinheit entspricht eine bestimmte Produktionsgeschwindigkeit $\rho_{p\delta}$ bei Fertigung der p-ten Produktart. Im Fall variierbarer Intensitätsgrade enthält die Arbeitseinsatzmatrix $S_{MP} \Delta$ Spalten je Produktart. Dementsprechend treten in der Matrix der Produktionsgeschwindigkeiten F_{PD} an die Stelle der Diagonalelemente Zeilenvektoren, wie sie in C.56 angegeben sind:

$$F_{PD} = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \dots & \rho_{1\Delta} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \rho_{21} & \dots & \rho_{2\Delta} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & \rho_{p1} & \dots & \rho_{p\Delta} \end{bmatrix} \quad (C.56)$$

Der Vektor der Fertigungszeitvariablen ist zu

$$d^t = (d_{11} \dots d_{1\Delta}, d_{22} \dots d_{2\Delta}, \dots, d_{p1} \dots d_{p\Delta})$$

zu erweitern.

Um die Herstellungsmenge einer Produktart zu ermitteln, ist über die verschiedenen Intensitätsgrade zu summieren, mit denen die sie erzeugende Produktiveinheit arbeiten kann. Daher sind die Produktgleichungen bei offener Produktion, variablen Intervalldauern und variablen Intensitätsgraden entsprechend Gleichung C.57 zu erweitern:

$$\sum_{\delta=1}^{\Delta} d_{p\delta}^t \cdot \rho_{p\delta} = \sum_{q=1}^P \sum_{\delta=1}^{\Delta} \alpha_{pq}^{\delta} \cdot \rho_{q\delta} \cdot d_{q\delta}^t + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad (C.57)$$

für alle p, t

Nach einem Vorschlag von Pressmar⁴ kann man voraussetzen, daß jede Produktiveinheit innerhalb eines Intervalls höchstens mit einem Intensitätsgrad arbeitet. Daher ist in den Maschinenbelegungsbedingungen auch über die Intensitätsgrade zu summieren:

$$\sum_{p \in P_m} \sum_{\delta=1}^{\Delta} z_{p\delta}^t \leq 1 \quad \text{für alle } m, t \quad (C.58)$$

Die erweiterten Zuordnungsvariablen $z_{p\delta}^t$ nehmen lediglich den Wert Eins an, wenn die Produktart p im Intervall t mit einer Intensität δ gefertigt wird. Für sie gelten ebenfalls die Ganzzahligkeitsbedingungen

$$z_{p\delta}^t \quad \text{ganzzahlig} \quad \text{für alle } p, \delta, t \quad (C.59)$$

³ Zum Problem des kostenoptimalen Intensitätssplitting vgl. Dellmann/Nastansky [Produktionsplanung] 245 ff.; Karrenberg/Scheer [Ableitung] 692 ff.; Adam [Produktionstheorie] 46 ff.

⁴ Pressmar [Modelle] 466.

Durch die Berücksichtigung verschiedener Intensitätsgrade müssen auch die Nebenbedingungen für die Beziehungen zwischen Fertigungszeit- und Zuordnungsvariablen

$$d_{p\delta}^t \leq z_{p\delta}^t \cdot D \quad \text{für alle } p, \delta, t \quad (\text{C.60})$$

sowie die Umrüstbedingungen

$$u_p^t \geq \sum_{\delta=1}^{\Delta} z_{p\delta}^t - \sum_{\delta=1}^{\Delta} z_{p\delta}^{t-1} \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.61})$$

und die Kapazitätsbedingungen

$$\sum_{p \in P_m} \left[\sum_{\delta=1}^{\Delta} d_{p\delta}^t + u_p^t \cdot h_p \right] \leq d^t \quad \text{für alle } m, t \quad (\text{C.62})$$

erweitert werden. Ferner sind die Nichtnegativitätsbedingungen

$$z_{p\delta}^t, u_p^t, d_{p\delta}^t, l_p^t, x_p^t \geq 0 \quad \text{für alle } p, \delta, t \quad (\text{C.63})$$

einzuhalten. Die Intervalldauerbeschränkung C.47

$$\sum_{t=1}^T d^t \leq D$$

ändert sich gegenüber dem Grundmodell nicht.

Wenn einzelne oder alle Produktarten von mehreren funktionsgleichen Produktiveinheiten hergestellt werden können, ist das Problem der *Arbeitsverteilung* im Produktionsmengenmodell abzubilden. Dann ist nicht mehr jede Produktart p genau einer Produktiveinheit m eindeutig zugeordnet. Deshalb müssen die Zuordnungsvariablen z , die Umrüstvariablen u und die Fertigungszeitvariablen d sowie die Koeffizienten ρ der Produktionsgeschwindigkeiten und h der Rüstzeiten nach Produktarten p (bzw. q) und nach Produktiveinheiten m indiziert werden. In den Produktgleichungen ist über alle Produktiveinheiten $m = 1, \dots, M$ zu summieren, von denen eine Produktart p (möglichlicherweise) erzeugt werden kann. Ohne Berücksichtigung von Intensitätsänderungen erhält man im Fall offener Produktion die Produktgleichungen C.64:

$$[p_p^t =] \sum_{m=1}^M d_{pm}^t \cdot \rho_{pm} = \sum_{q=1}^P \sum_{m=1}^M \alpha_{pq}^0 \cdot \rho_{qm} \cdot d_{qm}^t + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad (\text{C.64})$$

für alle p, t

Im Unterschied zum Grundmodell enthält die Arbeitseinsatzmatrix S_{MP} bei dieser Erweiterung Produktspalten mit mehreren Einselementen, weil die betreffenden Produktarten von verschiedenen Produktiveinheiten erzeugt werden können. Auch wenn man für jede Produktiveinheit einen einzigen In-

tensitätsgrad annimmt, lassen sich die Koeffizienten der Produktionsgeschwindigkeit nicht mehr wie in C.55 über eine Diagonalmatrix erfassen. Vielmehr ist die Matrix der Produktionsgeschwindigkeiten F_{PD} durch die Aneinanderreihung von M Diagonalmatrizen für die Produktiveinheiten $m = 1, \dots, M$ zu erweitern. In gleicher Weise muß der Vektor der Fertigungszeitvariablen d^t erweitert werden. Man erhält dann für die Herstellungsmengen der Produktarten $p = 1, \dots, P$ im Intervall t das Gleichungssystem C.65:

$$\begin{bmatrix} p_1^t \\ p_2^t \\ \vdots \\ p_P^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{11} & 0 & \dots & 0 & \rho_{12} & 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & \rho_{1M} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \rho_{21} & \dots & 0 & 0 & \rho_{22} & \dots & 0 & \dots & \dots & 0 & \rho_{2M} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \rho_{P1} & 0 & 0 & \dots & \rho_{P2} & \dots & \dots & 0 & 0 & \dots & \rho_{PM} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{11}^t \\ \vdots \\ d_{P1}^t \\ d_{12}^t \\ \vdots \\ d_{P2}^t \\ \vdots \\ d_{1M}^t \\ \vdots \\ d_{PM}^t \end{bmatrix}$$

$$p^t = F_{PD} \cdot d^t \quad (C.65)$$

Im Normalfall kann jede Produktiveinheit nur eine begrenzte Zahl der Produktarten fertigen. Deshalb sind eine Reihe der Koeffizienten ρ_{pm} und die ihnen entsprechenden Fertigungszeiten d_{pm}^t gleich Null. Ihre Spalten in der Matrix sowie ihre Elemente im Vektor d^t können weggelassen werden, so daß sich das Gleichungssystem C.65 vereinfacht.

Die Erweiterung um *reihenfolgeabhängige Rüstzeiten* betrifft im Modell mit variablen Intervalldauern lediglich die Definition der Umrüstvariablen sowie die Umrüstbedingungen C.30a und die Kapazitätsbedingungen C.52⁵. Die erweiterte Umrüstvariable u_{qpm}^t gibt an, ob im Intervall t eine Umrüstung der mten Produktiveinheit von Produktart q auf Produktart p erfolgt. Die Zeitspanne einer derartigen Umrüstung kann durch die vorgegebene Rüstzeit h_{qpm} bezeichnet werden. Nach einem Vorschlag von Seelbach und Mitarbeitern⁶ ersetzt man die Umrüstbedingungen C.30a durch Bedingungen der Art

⁵ Dagegen ändern sich im Modell mit konstanten Intervalldauern neben den Umrüstbedingungen C.30a und den Bedingungen der Leerzeitvariablen C.37 auch die Produktgleichungen C.39.

⁶ Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 183.

$$u_{qpm}^t = z_{qm}^{t-1} + z_{pm}^t - 1 \quad t=1, \dots, T; m=1, \dots, M; p, q=1, \dots, P \quad (C.66)$$

Zusammen mit den Nichtnegativitätsbedingungen

$$u_{qpm}^t \geq 0 \quad \text{für alle } m, t; p, q=1, \dots, P \quad (C.67)$$

bewirken sie bei negativer Gewichtung der Umrüstvariablen in der Zielfunktion, daß u_{qpm}^t genau dann gleich Eins wird, wenn im Intervall $t-1$ die Produktart q und im Intervall t die Produktart p auf m gefertigt wird.

Die Kapazitätsbedingungen C.53 gehen über in die Nebenbedingungen C.68:

$$\sum_{p=1}^P d_{pm}^t + \sum_{q,p=1}^P u_{qpm}^t \cdot h_{qpm} \leq d^t \quad \text{für alle } m, t \quad (C.68)$$

Als vierte Erweiterung wird der Anfall von Ausschuß berücksichtigt⁷. Man kann von der Hypothese ausgehen, daß die Höhe des Ausschusses in jeder Produktiveinheit proportional zur Herstellungsmenge ist. Dann läßt sich der Ausschuß durch einen konstanten Ausschußkoeffizienten erfassen. Veränderungen der Ausschußquote aufgrund von Lernprozessen bleiben dabei außer Ansatz. Des weiteren wird unterstellt, daß fehlerhafte Produkte ausgeschieden und nicht nach- oder weiterbearbeitet werden.

Ausschußkoeffizienten treten bei Produktionsmengenmodellen in den Produktgleichungen auf. Der Lagerendbestand einer Produktart p wird lediglich durch fehlerfreie Produkte erhöht. Jedoch richten sich die Einsatzmengen an Werkstoffen und Arbeitszeit nach den Bruttoproduktionsmengen einschließlich der fehlerhaften Produkte. Maßgebend für die Definition der Ausschußkoeffizienten ist aus diesem Grund, ob sich die Variablen p_p^t der Herstellungsmengen in den Produktgleichungen C.22

$$p_p^t = \sum_{q=1}^P f_{pq}^0 (\dots) \cdot p_q^t + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1}$$

und entsprechend in den Produktgleichungen C.23 auf Bruttoproduktionsmengen einschließlich der Ausschußprodukte oder auf die fehlerfreien Nettoproduktionsmengen beziehen. Im Grundmodell mit variablen Intervalldauern gelten für die Herstellungsmengen p_p^t bei gegebener Arbeitsverteilung nach C.50 die Bestimmungsgleichungen:

$$p_p^t = o_{pm} \cdot d_{pm}^t$$

Definiert man p_p^t als Bruttoproduktionsmenge, so gibt der Koeffizient o_{pm} an, welche Gesamtmenge an fehlerfreien und fehlerhaften Produkten der Güterart

⁷ Zur Erfassung von Ausschuß vgl. Jacob [Produktionsplanung] 257 ff.; Heinen [Kostenlehre] 267; Adam [Produktionsplanung] 159 ff.; Kloock [Input-Output-Analyse] 1956; Pressmar [Modelle] 467; Schweitzer [Kostentheorie] 22 f.

p je Zeiteinheit von m erzeugt werden kann⁸. Aufgrund dieser Definition ist der Anfall von Ausschuß in den Produktgleichungen bei der *Lagerzugangsmenge* p_p^l zu erfassen⁹. Man multipliziert die Bruttoproduktionsmenge p_p^l mit einem Ausschußkoeffizienten Ψ_p , der das Verhältnis zwischen fehlerfreier und gesamter Herstellungsmenge je Zeiteinheit wiedergibt. Anstelle der Grundgleichungen C.22 erhält man die Gleichungen C.69:

$$\psi_p \cdot p_p^t = \sum_{q=1}^p f_{pq}^o (\dots) p_q^t + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.69})$$

Kennzeichnend ist in C.69, daß lediglich die Zugangsmenge p_p^l zum Lager und nicht die Lagerabgänge für den Wiedereinsatz mit dem Ausschußkoeffizienten zu multiplizieren sind. In entsprechender Weise sind die Produktgleichungen bei den verschiedenen Typen des Produktionsmengenmodells zu erweitern.

Zwischen den Bruttoproduktionsmengen p_p^l und den Nettoproduktionsmengen \bar{p}_p^t besteht die definitorische Beziehung C.70:

$$\bar{p}_p^t = \psi_p \cdot p_p^t \quad (\text{C.70})$$

Formuliert man die Produktgleichungen mit den Nettoproduktionsmengen \bar{p}_p^t , so müssen die zum Wiedereinsatz bestimmten Lagerabgangsmengen mit einem Ausschußkoeffizienten $\bar{\Psi}_p$ multipliziert werden¹⁰. Dieser Koeffizient $\bar{\Psi}_p$ wird durch das Verhältnis zwischen gesamter und fehlerfreier Herstellungsmenge definiert. Er entspricht dem Kehrwert von Ψ_p . Setzt man den Ausschußkoeffizienten $\bar{\Psi}_p$ ein, ergeben sich anstelle der Grundgleichungen C.22 die Produktgleichungen C.71:

$$\bar{p}_p^t = \sum_{q=1}^p f_{pq}^o (\dots) \cdot \bar{\Psi}_q \cdot \bar{p}_q^t + x_p^t + l_p^t + l_p^{t-1} \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.71})$$

Die Beziehungen zwischen den Nettoproduktionsmengen und den Fertigungszeiten werden durch die Gleichungen

$$\bar{p}_p^t = \psi_p \cdot p_{pm} \cdot d_{pm}^t = \bar{\rho}_{pm} \cdot d_{pm}^t$$

erfaßt. In ihnen geben die Koeffizienten $\bar{\rho}_{pm}$ an, welche Mengen an fehlerfreien Produkten unter Beachtung des Anfalls von Ausschuß je Zeiteinheit von der Produktiveinheit m hergestellt werden kann.

Beide Möglichkeiten zur Definition des Ausschußkoeffizienten führen ökonomisch zu demselben Ergebnis. Sie unterscheiden sich aber im Ausweis von

⁸ Entsprechend gibt Q_p in C.39 an, welche Gesamtmenge an fehlerfreien und fehlerhaften Produkten in t gefertigt werden kann.

⁹ Diesen Ansatz verwendet Pressmar.

¹⁰ Diesen Ansatz verwenden Jacob, Heinen, Adam, Kloock und Schweitzer.

MODELL MIT VARIABLEN INTERVALLDAUERN	MODELL MIT VORGEGEBENEN KONSTANTEN INTERVALLDAUERN
$\left(\begin{array}{l} \sum_{\delta=1}^{\Delta} \sum_{t=1}^T \psi_{pm\delta} \cdot c_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t = \sum_{\delta=1}^{\Delta} \sum_{t=1}^T a_{pm\delta}^{(0)} \cdot u_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t \\ \text{für alle } p, t \end{array} \right)$	$\left(\begin{array}{l} \sum_{\delta=1}^{\Delta} \sum_{t=1}^T \psi_{pm\delta} \cdot c_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t = \sum_{\delta=1}^{\Delta} \sum_{t=1}^T h_{pm\delta} \cdot u_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t \\ \text{für alle } p, t \end{array} \right)$
$d_{pm\delta}^t \leq z_{pm\delta}^t \quad (C.72a)$	$\left(\begin{array}{l} \sum_{\delta=1}^{\Delta} \sum_{t=1}^T a_{pm\delta}^{(0)} \cdot u_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t = \sum_{\delta=1}^{\Delta} \sum_{t=1}^T h_{pm\delta} \cdot u_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t \\ + x_p^t + l_p^t - l_{p-1}^t \\ \text{für alle } p, t \end{array} \right)$
$z_{pm\delta}^t \text{ ganzzahlig}$	$z_{pm\delta}^t \text{ ganzzahlig}$
$\sum_{\delta=1}^{\Delta} z_{pm\delta}^t \leq 1 \quad \text{für alle } m, t$	$\sum_{\delta=1}^{\Delta} z_{pm\delta}^t \leq 1 \quad \text{für alle } m, t$
$u_{pm\delta}^t \geq \sum_{\delta=1}^{\Delta} z_{pm\delta}^t - 1 \quad c_{ipm} = 1, \dots, p; \text{ für alle } m, t$	$u_{pm\delta}^t \geq \sum_{\delta=1}^{\Delta} z_{pm\delta}^t - 1 \quad c_{ipm} = 1, \dots, p; \text{ für alle } m, t$
$\sum_{\delta=1}^{\Delta} d_{pm\delta}^t + \sum_{\delta=1}^{\Delta} h_{pm\delta} \cdot u_{pm\delta}^t \leq l^t \quad \text{für alle } m, t$	$v_{pm\delta} \leq z_{pm\delta}^t - \frac{1}{d} h_{pm\delta} \cdot u_{pm\delta}^t \quad \text{für alle } p, m, \delta, t$
$\sum_{\delta=1}^{\Delta} d_{pm\delta}^t \leq p \quad (C.72a)$	$z_{pm\delta}^t \leq x_p^t, l_p^t, u_p^t, v_{pm\delta}, \text{ für alle } m, \delta, t$
$d_{pm\delta}^t, z_{pm\delta}^t, x_p^t, l_p^t, u_p^t, v_{pm\delta} \geq 0 \quad (C.72b)$	$c_{ipm} = 1, \dots, p; \text{ für alle } m, \delta, t$

Brutto- oder Nettoproduktionsmengen an Zwischen- und Endprodukten sowie in der Definition der Koeffizienten für die Produktionsgeschwindigkeiten¹¹.

Es ist anzunehmen, daß die Ausprägung der Ausschußkoeffizienten von der hergestellten Produktart p , der sie bearbeitenden Produktiveinheit m und von deren Intensitätgrad δ_m abhängig ist. Aufgrund dieser Hypothese müssen bei variabler Arbeitsverteilung und variabler Intensität je Produktiveinheit die Ausschußkoeffizienten $\Psi_{pm\delta}$ bzw. $\dot{\Psi}_{pm\delta}$ in die Produktgleichungen eingesetzt werden.

Abschließend wird das Produktionsmengenmodell für den Fall offener Produktion unter Berücksichtigung der vier entwickelten Erweiterungen formuliert. Auf Seite 166 geben die Bedingungen C.72a bis h das umfassende Produktionsmengenmodell bei variablen Intervalldauern wieder. Ihm ist in den Bedingungen C.73a bis f das umfassende Produktionsmengenmodell mit vorgegebenen konstanten Intervalldauern gegenübergestellt¹². In beiden Modellen sind die Intensitäten der Produktiveinheiten und die Arbeitsverteilungen variabel. Ferner werden reihenfolgeabhängige Rüstzeiten und der Anfall von Ausschuß berücksichtigt. Anhand dieser Modelle lassen sich die verschiedenen Typen einfacherer Produktionsmengenmodelle sowie Modelle mit anderen Verweilzeiten ohne weiteres formulieren. Ferner ist das System der Produktgleichungen eines Intervalls für das umfassende Produktionsmengenmodell mit variablen Intervalldauern in Abbildung 22 auf S. 168 dargestellt.

Die dynamischen Produktionsmengenmodelle C.72 bzw. C.73 bilden bei offener Produktion die Interdependenzen zwischen der art- und mengenmäßigen Ausprägung sowie der zeitlichen Verteilung des Produktionsprogramms und den Organisationstatbeständen des Produktionsvollzugs ab.

2. Erfassung und Analyse der Beziehungen zwischen originärem Gütereinsatz, Produktionsablauf und Güterausbringung

a) Funktionen des originären Gütereinsatzes

Die dargestellten Produktionsmengenmodelle erfassen lediglich den Einsatz und die Ausbringung an Zwischen- und Endprodukten¹. Um die gesamten produktionstheoretischen Beziehungen zwischen dem Gütereinsatz und der Güterausbringung materieller Realisationsprozesse abzubilden, müssen sie um Funktionen für den Einsatz an menschlicher und maschineller Arbeit, an Be-

¹¹ Entsprechendes gilt für die Definition der Intervallkapazitäten Q_p .

¹² Dabei bezeichnet \bar{d}^t die vorgegebene konstante Intervalldauer. Zur Differenzierung der Umrüstvariablen nach Intensitätsgraden vgl. S. 221.

¹ Vgl. Egger [Fertigungsplanung] 128 f. Er kritisiert an dem Modell von Adam, daß der Einsatz an Rohstoffen nicht explizit erfaßt wird.

$$\begin{aligned}
 & \left[\begin{array}{c} p_1^t \\ p_2^t \\ \vdots \\ p_p^t \end{array} \right] = \left[\begin{array}{ccccccccc} p_{111} & \cdots & p_{11\Delta} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots \\ 0 & \cdots & 0 & p_{211} & \cdots & p_{21\Delta} & \cdots & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & p_{p11} & \cdots & p_{p1\Delta} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{ccccccccc} \psi_{111} & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots \\ 0 & \cdots & \psi_{11\Delta} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots \\ 0 & \cdots & 0 & \psi_{211} & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & \psi_{21\Delta} & \cdots & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & \psi_{p11} & \cdots & \psi_{p1\Delta} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} d_{111}^t \\ d_{11\Delta}^t \\ d_{211}^t \\ \vdots \\ d_{21\Delta}^t \\ \vdots \\ d_{p11}^t \\ d_{p1\Delta}^t \\ \vdots \\ d_{p\Delta}^t \end{array} \right] \\
 & = \left[\begin{array}{c} \alpha_{11}^o \\ \alpha_{21}^o \\ \vdots \\ \alpha_{p1}^o \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{ccccccccc} c_{111} & \cdots & c_{11\Delta} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots \\ 0 & \cdots & 0 & c_{211} & \cdots & c_{21\Delta} & \cdots & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & c_{p11} & \cdots & c_{p1\Delta} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} d_{111}^t \\ d_{11\Delta}^t \\ d_{211}^t \\ \vdots \\ d_{21\Delta}^t \\ \vdots \\ d_{p11}^t \\ d_{p1\Delta}^t \\ \vdots \\ d_{p\Delta}^t \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} x_1^t \\ x_2^t \\ \vdots \\ x_p^t \\ d_{p\Delta}^t \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \gamma_1^t \\ \gamma_2^t \\ \vdots \\ \gamma_p^t \\ 1_p^{t-1} \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

Abb. 22: System der Produktgleichungen des umfassenden Produktionsmengenmodells mit variablen Intervalldauern

triebsstoffen sowie an Roh- (und Hilfs-)²Stoffen erweitert werden. Erst dann gelangt man zu einem Produktionsmodell, das die Beziehungen des originären und des derivativen Gütereinsatzes zur Güterausbringung enthält und damit als Produktionsfunktion interpretiert werden kann.

Die Prämisse konstanter Struktur der Produktiveinheiten bedeutet, daß der Bestand an Arbeitskräften und maschinellen Anlagen sowie deren qualitative Eigenschaften und gegenseitige Zuordnung als unveränderlich unterstellt werden. Zumindest auf kürzere Sicht erscheint es berechtigt, die wichtigste produktionstheoretische Konsequenz des Einsatzes von Arbeitskräften und Anlagen im Verbrauch ihrer Nutzungsmöglichkeit zu sehen. Dieser kann durch die Zeitdauer ihres Einsatzes gemessen werden. Darauf hinaus stellt die Einsatzdauer bei gegebener Zahl an Arbeitskräften und Anlagen die einzige Handlungsvariable dar, um die verfügbare Produktionskapazität zu variieren. Aus diesen Gründen wird die Einsatzmenge an menschlicher und maschineller Arbeit je Zeitintervall durch die Zeitdauer ihres Arbeitseinsatzes gemessen.

Wenn eine Arbeitskraft oder maschinelle Anlage verschiedenartige Verrichtungen ausführen oder mit unterschiedlichen Intensitätsgraden tätig sein kann, werden durch die Einsatzzeit je Verrichtungsart bzw. Intensitätsgrad die Verbrauchsmengen in jeder dieser Arbeitseinsatzarten gemessen. Ferner können die gesamte Einsatzzeit einer Arbeitskraft bzw. Anlage im Intervall oder im Betrachtungszeitraum erfaßt und durch Vergleich mit ihrer Belegungszeit der Auslastungsgrad im Zeitablauf ermittelt werden.

Die Art der Einsatzfunktionen für menschliche und maschinelle Arbeit hängt davon ab, wie Arbeitskräfte und Anlagen zu Produktiveinheiten zusammengefaßt sind³. Maßgebend sind insbesondere der Mechanisierungsgrad der Tätigkeit, die Zahl der in einer Produktiveinheit eingesetzten Arbeitskräfte und Arbeitsmittel sowie die technischen Eigenschaften der Arbeitsmittel. Je höher der Mechanisierungsgrad ist, desto mehr bestimmen die technischen Eigenschaften der Arbeitsmittel auch den menschlichen Arbeitseinsatz. Dagegen sind individuelle menschliche Verhaltenseigenschaften um so stärker wirksam, je weniger der Arbeitsablauf technisch festgelegt ist. Für die verschiedenenartigen Formen des Arbeitseinsatzes gelten in der Realität unterschiedliche Transformationsfunktionen. Im folgenden wird von dem Fall ausgegangen, daß die Tätigkeiten in gewissem Umfang mechanisiert sind und deshalb jede Produktiveinheit durch die in ihr eingesetzte maschinelle Anlage bestimmt ist.

Zur exakten Ermittlung der Einsatzzeiten von Anlagen und Arbeitskräften können die Verfahren der Arbeitszeitvorgabe⁴ herangezogen werden. Dabei ist

² Im folgenden wird unterstellt, daß Hilfsstoffe stets wie die Rohstoffe oder wie die Betriebsstoffe erfaßt werden können. Sie werden daher nicht gesondert aufgeführt.

³ Vgl. REFA [Arbeitsstudium 3] 120 ff.

⁴ Vgl. REFA [Arbeitsstudium 2] 41 ff., insbesondere 61 ff.; Segur [Motion-Time-Analysis] 107 ff.; Quick/Duncan/Malcolm [Work-Factor System] 39 ff.; Schwab [Methods-Time Measurement] 13 ff.; Schlaich [Vergleich]. Zum Überblick vgl. Brink/Fabry [Arbeitszeiten] 36 ff.; Jäger [Teilzeiten] 11 ff.

aber zu beachten, daß ablaufbedingte Unterbrechungszeiten nicht zu den Einsatzzeiten im Produktionsprozeß gehören⁵. Störungsbedingte Unterbrechungszeiten bleiben vereinfachend außer Ansatz. Daher umfaßt die Einsatzzeit *maschiner Anlagen* Nutzungs- und Rüstzeiten. Ist in jeder Produktiveinheit jeweils eine maschinelle Anlage eingesetzt, dann bezeichnet deren Index m zugleich die Produktiveinheit. Die Fertigungszeitvariablen⁶ $d_{pm\delta}^t$ geben die Nutzungszeiten der m-ten Anlage an. Diese können aus Haupt- und Nebenzeiten bestehen. Die gesamte Einsatzzeit r_m^t der m-ten Anlage im Intervall t lässt sich unmittelbar aus den Produktionsmengenmodellen der Produkte bestimmen. Bei veränderlicher Intensität und reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten ergibt sie sich entsprechend Gleichung C.74 als Summe der Fertigungs- und Rüstzeit im Intervall t:

$$r_m^t = \sum_{p, \delta} d_{pm\delta}^t + \sum_{q, p} h_{qpm} \cdot u_{qpm}^t \quad \text{für alle } m, t \quad (\text{C.74})$$

Eine Formulierung entsprechender Funktionen für den Einsatz mehrerer Anlagen in einer Produktiveinheit ist mit Hilfe der Fertigungszeit- und Umrüstvariablen ohne weiteres durchführbar. Ferner ist eine Verfeinerung durch Unterscheidung von Haupt- und Nebenzeiten sowie durch die Berücksichtigung von störungsbedingten Unterbrechungszeiten möglich.

Die Transformationsfunktionen des Einsatzes an *menschlicher Arbeit* richten sich danach, welche Verrichtungen von einer oder mehreren Arbeitskräften in den einzelnen Produktiveinheiten durchgeführt werden. Als wichtige Teilzeiten können nach REFA Rüstzeiten, Haupt- und Nebentätigkeitszeiten, Wartezeiten, Erholungs- und Verteilzeiten unterschieden werden⁷. „Während der Rüstvorgänge überwiegen stets Handarbeitszeiten ...“⁸. Deshalb kann man unterstellen, daß die in der Produktiveinheit m eingesetzte Arbeitskraft a während der gesamten Rüstzeiten h_{qpm} in m tätig ist. Die Hauptnutzungs- oder -tätigkeitszeit umfaßt vor allem die Bearbeitung und den Transport der Produkte. Wenn diese Verrichtungen weitgehend mechanisiert sind, muß eine Arbeitskraft innerhalb der Hauptnutzungszeit lediglich die Bedienung und Überwachung der Anlage durchführen. Daher wird sie vielfach nicht während der gesamten Hauptnutzungszeit in m benötigt. Dagegen bestehen Nebentätigkeiten meist in der Ausführung von Handarbeiten bei dem Beschricken der Anlage, dem Füllen von Magazinen, der Kontrolle von Werkstoffmengen oder Meßvorgängen⁹. Im Normalfall muß während der gesamten Nebenzeiten eine Arbeitskraft an der Anlage tätig sein. Beinhalten die Nebenzeiten zum Beispiel das Ein-

⁵ Brink/Fabry [Arbeitszeiten] 26 f.

⁶ Im Modell mit vorgegebener Intervalldauer ergibt sich $d_{pm\delta}^t$ entsprechend Gleichung C.49 auf Seite 158.

⁷ REFA [Arbeitsstudium 2] 47.

⁸ Kilger [Plankostenrechnung] 339.

⁹ REFA [Arbeitsstudium 2] 26; Kilger [Plankostenrechnung] 275.

und Ausspannen der Werkstoffe, so kann man annehmen, daß sie bei Anlage m je Produkteinheit ϵ'_{pm} Zeiteinheiten ausmachen. Da die Herstellungsmenge p'_p bei konstanter Produktionsgeschwindigkeit¹⁰ $\rho_{pm\delta}$ proportional zur Fertigungszeit $d'_{pm\delta}$ ist, beträgt die Nebennutzungszeit der Produktiveinheit m im Intervall t

$$\sum_{p,\delta} \epsilon'_{pm} \cdot p_p^t = \sum_{p,\delta} \epsilon'_{pm} \cdot \rho_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t$$

Zeiteinheiten. Die Hauptnutzungszeit entspricht der Differenz zwischen Fertigungs- und Nebennutzungszeit. Man kann unterstellen, daß die menschliche Arbeitszeit während der Hauptnutzung entsprechend dem konstanten Produktionskoeffizienten ϵ_m^* proportional zur Hauptnutzungszeit von m ist. Damit erhält man für die gesamte menschliche Arbeitszeit während der Haupt- und der Nebennutzungszeit der m-ten Anlage den Ausdruck

$$\sum_{p,\delta} [\epsilon_m^* \cdot (1 - \epsilon'_{pm} \cdot \rho_{pm\delta}) \cdot d_{pm\delta}^t + \epsilon'_{pm} \cdot \rho_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t] = \\ \sum_{p,\delta} [\epsilon_m^* - \epsilon_m^* \cdot \epsilon'_{pm} \cdot \rho_{pm\delta} + \epsilon'_{pm} \cdot \rho_{pm\delta}] \cdot d_{pm\delta}^t = \sum_{p,\delta} \epsilon_{pm} \cdot d_{pm\delta}^t$$

Der Produktionskoeffizient ϵ_{pm} gibt den Bedarf an menschlicher Arbeitszeit an, der bei Herstellung der Produktart p in Produktiveinheit m je Fertigungszeiteinheit benötigt wird. Er ist konstant, sofern auch die Koeffizienten ϵ'_{pm} , ϵ_m^* und $\rho_{pm\delta}$ konstant sind.

Zu der Einsatzzeit einer Arbeitskraft können auch die Erholungszeiten und zumindest ein Teil der Verteilzeiten gerechnet werden, weil diese Zeiten zur Erhaltung ihrer Leistungsfähigkeit erforderlich sind. In der Vorgabezeitermittlung nach REFA werden sowohl die Erholungs- als auch die Verteilzeiten proportional zur Grundzeit angesetzt¹¹. Da die Grundzeit bei menschlicher Arbeit neben den Tätigkeitszeiten auch ablaufbedingte Wartezeiten umfaßt¹², erscheint dieser Ansatz problematisch. Darüber hinaus ist er unzweckmäßig, wenn die Wartezeiten von der Lösung des Modells abhängig sind. Eine berechtigte Annahme ist darin zu sehen, daß die Verteil- und Erholungszeiten proportional zu den Tätigkeitszeiten festgelegt werden. Sie lassen sich damit als proportionale Anteile μ_m für Verteil- und η_m für Erholungszeiten der Fertigungszeiten $d'_{pm\delta}$ erfassen. Die Summe aus Verteil- und Erholungszeiten einer Arbeitskraft in der Produktiveinheit m beträgt dann

$$\sum_{p,\delta} \mu_m \cdot d_{pm\delta}^t + \sum_{p,\delta} \eta_m \cdot d_{pm\delta}^t$$

Zeiteinheiten.

¹⁰ Die Produktionsgeschwindigkeit enthält anteilige Nebenzeiten, da die Fertigungszeitvariablen $d'_{pm\delta}$ Haupt- und Nebenzeiten umfassen.

¹¹ REFA [Arbeitsstudium 2] 50, 196 und 305.

¹² REFA [Arbeitsstudium 2] 47.

Faßt man die Ausdrücke für den Arbeitseinsatz während Rüst-, Nutzungs-, Verteil- und Erholungszeiten zusammen, so ergibt sich die gesamte Einsatzzeit einer Arbeitskraft in der Produktiveinheit m. Häufig können Arbeitskräfte bei mechanisierter Fertigung in verschiedenen Produktiveinheiten eingesetzt werden, weil sie nicht während der gesamten Bearbeitungszeit der Produkte an den Anlagen benötigt werden. Bezeichnet man mit M_a die Teilmenge der Produktiveinheiten, an denen die Arbeitskraft a tätig wird, so läßt sich ihre gesamte Einsatzzeit r_a^t im Intervall t entsprechend Gleichung C.75 bestimmen:

$$r_a^t = \sum_{m \in M_a} [\sum_{q,p} h_{qp} \cdot u_{qp}^t + \sum_{p,\delta} \epsilon_{pm} \cdot d_{pm\delta}^t + \sum_{p,\delta} u_m \cdot d_{pm\delta}^t + \sum_{p,\delta} \gamma_m \cdot d_{pm\delta}^t]$$

für alle a,t (C.75)

Die Zuordnung der Arbeitskräfte zu den Anlagen muß so vorgenommen sein, daß ihre Einsatzzeiten r_a^t in keinem Intervall die Intervalldauer überschreiten.

Als wichtigste Bestimmungsgrößen für die Einsatzmenge r_{bm}^t des b-ten Betriebsstoffes an der maschinellen Anlage m während des Intervalls t werden die technischen Eigenschaften, die Intensität δ_m und die Fertigungszeit d_m^t dieser Anlage angesehen¹³. Bei konstanten technischen Eigenschaften kann man entsprechend Gleichung B.12 von der Transformationsfunktion

$$r_{bm}^t = f_{bm}(\delta_m) \cdot \delta_m \cdot d_m^t (B.12a)$$

ausgehen. Diese Verbrauchsfunktion geht bei konstanter Intensität δ_m entsprechend Gleichung C.76a in eine Leontief-Funktion¹⁴ über:

$$r_{bm}^t = f_{bm}(\delta_m) \cdot \delta_m \cdot d_m^t = \beta_{bm}^t \cdot \delta_m \cdot d_m^t \beta_{bm}^t = \text{konstant} (C.76a)$$

Für alternative konstante Intensitätsgrade δ_m kann man setzen:

$$\beta_{bm}^t \cdot \delta_m = \beta_{bm\delta}^t \beta_{bm\delta}^t = \text{konstant}$$

Die Fertigungszeit d_m^t der m-ten Anlage ergibt sich aus den Werten ihrer Fertigungszeitvariablen $d_{pm\delta}^t$. Wenn die Anlage verschiedene Produktarten erzeugen und mit unterschiedlichen Intensitätsgraden eingesetzt werden kann, läßt sich die Einsatzmenge des Betriebsstoffes b während der Fertigungszeit von m nach Gleichung C.76b ermitteln:

$$r_{bm}^t = \sum_{p,\delta} \beta_{bm\delta}^t \cdot d_{pm\delta}^t (C.76b)$$

¹³ Vgl. Seite 68.

¹⁴ Vgl. Gutenberg [Produktion] 336; Kilger [Produktionstheorie] 63 f.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 93 f.

Während der Rüstzeiten tritt höchstens ein stark verminderter Betriebsstoffverbrauch auf. Beispielsweise sind Probeläufe durchzuführen oder Anlagenteile auf einer bestimmten Temperatur zu halten¹⁵. Man kann unterstellen, daß sich dieser Betriebsstoffverbrauch entsprechend den konstanten Koeffizienten¹⁶ γ_{bm} proportional zur Rüstzeit verhält. Dann setzt sich der gesamte Betriebsstoffverbrauch je Intervall aus dem Einsatz während der Fertigungs- und Rüstzeit zusammen. An die Stelle von C.76b treten Funktionen der Art C.76c:

$$r_{bm}^t = \sum_p \delta^{bm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t + \sum_q \gamma_{bm} \cdot h_{qpm} \cdot u_{qpm}^t \quad (\text{C.76c})$$

Die gesamte Einsatzmenge r_b^t des Betriebsstoffes b im Intervall t läßt sich gemäß C.77 durch Summation über alle Anlagen ermitteln:

$$r_b^t = \sum_m \left[\sum_p \delta^{bm\delta} d_{pm\delta}^t + \sum_q \gamma_{bm} h_{qpm} \cdot u_{qpm}^t \right] \quad \text{für alle } b, t \quad (\text{C.77})$$

Bei *Rohstoffen* ist die Hypothese als gut bestätigt anzusehen, daß ihre Einsatzmengen r_r^t im Intervall t unmittelbar von den Ausbringungsmengen p_p^t an Zwischen- sowie Endprodukten abhängig sind und für diese Beziehungen Leontief-Funktionen der Art

$$r_r^t = \sum_p \alpha_{rp}^o \cdot p_p^t \quad \alpha_{rp}^o = \text{konstant} \quad (\text{C.78})$$

gelten. Die Herstellungsmengen p_p^t werden entsprechend Gleichung C.72a durch Multiplikation der Produktionsgeschwindigkeiten mit den Fertigungszeitvariablen bestimmt¹⁷:

$$p_p^t = \sum_{m,\delta} \rho_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t$$

Durch Einsetzen dieser Gleichung in Gleichung C.78 ergibt sich die Einsatzmenge r_r^t des Rohstoffes r im Intervall t in Abhängigkeit von der Fertigungszeitvariablen $d_{pm\delta}^t$:

$$r_r^t = \sum_p \alpha_{rp}^o \cdot \sum_{m,\delta} \rho_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t \quad (\text{C.79})$$

In einem dynamischen Ansatz ist es möglich, neben den Einsatzmengen die Beschaffungs- und Lagermengen sowie deren zeitliche Verteilung zu erfassen. Da menschliche und maschinelle Arbeit nicht lagerfähig sind, betrifft diese Erweiterung lediglich die Rohstoffe r und die Betriebsstoffe b. Man kann die Beschaffungsmengen an Roh- und Betriebsstoffen im Intervall t mit e_r^t bzw. e_b^t ,

¹⁵ Kilger [Plankostenrechnung] 339 und 452.

¹⁶ Gegebenenfalls können diese Koeffizienten produkt- und reihenfolgeabhängig sein. Dann sind die Koeffizienten γ_{bqpm} einzusetzen.

¹⁷ Vgl. Seite 166.

ihre Lagerendbestände in t mit l_r^t bzw. l_b^t und ihre Absatzmengen in t mit x_r^t bzw. x_b^t bezeichnen. Dann lassen sich unter Verwendung der Gleichungen C.79 für Rohstoffe Gleichungen der Art

$$e_r^t = \sum_p a_{rp}^0 \cdot m_{\delta} \cdot p_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t + x_r^t + l_r^t - l_r^{t-1} \quad \text{für alle } r, t \quad (\text{C.80})$$

sowie unter Verwendung der Gleichungen C.77 für Betriebsstoffe Gleichungen der Art

$$e_b^t = \sum_{p, \delta} b_{bm\delta} d_{pm\delta}^t + q_{p, q} \gamma_{bm} h_{qpm} u_{qpm}^t + x_b^t + l_b^t - l_b^{t-1} \quad (\text{C.81})$$

formulieren. In diesen Gleichungen wird unterstellt, daß Roh- und Betriebsstoffe erst in dem Intervall bereitgestellt werden, in dem ihr Einsatz erfolgt. Für die Beschaffungs-, Absatz- und Lagerbestandsvariablen der Roh- und Betriebsstoffe gelten ebenfalls Nichtnegativitätsbedingungen:

$$e_r^t, e_b^t, x_r^t, x_b^t, l_r^t, l_b^t \geq 0 \quad \text{für alle } r, b, t \quad (\text{C.82})$$

b) Strukturmerkmale der Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung

Die Funktionen der Einsatzzeiten an maschineller Arbeit (C.74) sowie an menschlicher Arbeit (C.75) und die Funktionen der Einsatzmengen an Betriebsstoffen (C.77) enthalten als Bestimmungsgrößen des Gütereinsatzes die Fertigungszeit- und die Umrüstvariablen. Auch die Einsatzmengen an Rohstoffen lassen sich nach Gleichung C.79 in Abhängigkeit von den Fertigungszeitvariablen angeben. Die Fertigungszeitvariablen $d_{pm\delta}^t$ kennzeichnen die nach Produktarten (p), Produktiveinheiten (m) sowie Intensitätsgraden (δ) differenzierten Bearbeitungsprozesse je Intervall, während die Umrüstvariablen u_{qpm}^t die nach der Produktreihenfolge (q p) sowie nach Produktiveinheiten (m) differenzierten Rüstprozesse je Intervall beschreiben. Die in den Gleichungen C.74, C.75, C.77 und C.80 enthaltenen funktionalen Beziehungen zwischen dem Gütereinsatz und den Fertigungszeitvariablen $d_{pm\delta}^t$ bzw. den Umrüstvariablen u_{qpm}^t lassen sich in mehreren Direktverbrauchsmatrizen zusammenfassen. Abbildung 23 gibt an, aus welchen Elementen die einzelnen Direktverbrauchsmatrizen aufgebaut sind.

Unter Verwendung der in Abbildung 23 gekennzeichneten Direktverbrauchsmatrizen sowie unter Berücksichtigung der Gleichungen C.80 und C.81 für Roh- und Betriebsstoffe lassen sich die Beziehungen zwischen originärem Gütereinsatz und den Fertigungszeiten sowie Umrüstungen eines Inter-

Kennzeichnung der Direktverbrauchsmatrix	Formale Bezeichnung	Elemente der Direktverbrauchsmatrix	Zugehörige Einsatzfunktion
Fertigungszeitabhängiger menschlicher Arbeitseinsatz	F_{AD}	$\epsilon_{pm} + u_m + \eta_m$	C.75
Umrüstabhängiger menschlicher Arbeitseinsatz	F_{AU}	h_{qpm}	C.75
Fertigungszeitabhängiger maschineller Arbeitseinsatz	F_{MD}	1	C.74
Umrüstabhängiger maschineller Arbeitseinsatz	F_{MU}	h_{qpm}	C.74
Fertigungszeitabhängiger Betriebsstoffeinsatz	F_{BD}	$\beta_{bm}\delta$	C.76b
Umrüstabhängiger Betriebsstoffeinsatz	F_{BU}	$\gamma_{bm} \cdot h_{qpm}$	C.76c
Fertigungszeitabhängiger Rohstoffeinsatz	F_{RD}	$\alpha_{rp}^o \cdot \rho_{pm}\delta$	C.79

Abb. 23: Überblick über Bezeichnung und Aufbau verschiedener Direktverbrauchsma-trizen

valls t in Matrixschreibweise angeben. Man erhält das Gleichungssystem C.83. In diesem bezeichnen die Vektoren r_A^t bzw. r_M^t die Einsatzzeiten der verschiedenen Arbeitskräfte bzw. maschinellen Anlagen. Die Vektoren e_B^t bzw. e_R^t geben die Beschaffungsmengen an Betriebsstoffen bzw. Rohstoffen an. Die Fertigungszeitvariablen $d_{pm}\delta$ sind zu den Vektoren d^t und die Umrüstvariablen u_{qpm}^t zu den Vektoren u^t zusammengefaßt. Die Absatzmengen und die Lagerendbestände der Betriebs- bzw. Rohstoffe werden durch die Vektoren x_B^t bzw. x_R^t und l_B^t bzw. l_R^t gekennzeichnet.

$$\begin{bmatrix} r_A^t \\ r_M^t \\ e_B^t \\ e_R^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{AD} & F_{AU} \\ F_{MD} & F_{MU} \\ F_{BD} & F_{BU} \\ F_{RD} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d^t \\ u^t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} o \\ o \\ x_B^t \\ x_R^t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} o \\ o \\ l_B^t - l_B^{t-1} \\ l_R^t - l_R^{t-1} \end{bmatrix} \quad (C.83)$$

Das Gleichungssystem C.83 enthält keine Zyklen, da keine Eigenerzeugung von originären Einsatzgütern unterstellt wird.

Durch das Gleichungssystem C.83 wird lediglich die *Inputseite* des Produktionsprozesses erfaßt. Es ist daher um eines der in Abschnitt C.II entwickelten Produktionsmengenmodelle zu ergänzen. Diese Modelle, welche die Beziehungen der Zwischen- und Endprodukte sowie der Lagerendbestands- und Absatzmengen abbilden, geben die *Outputseite* des Produktionsprozesses wieder. Legt man beispielsweise das Produktionsmengenmodell mit variablen Arbeitsverteilungen, variablen Intensitätsgraden und reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten

ohne Berücksichtigung von Ausschußproduktion¹ zugrunde, so werden die Input-Output-Beziehungen der Zwischen- und Endprodukte im Fall der offenen Produktion durch Produktgleichungen der Art

$$\left[\begin{array}{l} p_p^t = \sum_{m,\delta} \rho_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^t = \sum_q \alpha_{pq}^0 \sum_{m,\delta} \rho_{qm\delta} \cdot d_{qm\delta}^t + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \end{array} \right]$$

erfaßt. Diese lassen sich aus den Produktgleichungen C.72a durch Nichtberücksichtigung der Ausschußkoeffizienten herleiten.

Die direkten funktionalen Beziehungen zwischen dem Vektor der Herstellungsmengen p^t einerseits und dem Vektor der Fertigungszeitvariablen d^t andererseits werden entsprechend Abb. 22 zu einer Direktverbrauchsmatrix F_{PD} zusammengefaßt. Deren Elemente stellen die Koeffizienten der Produktionsgeschwindigkeiten $\rho_{pm\delta}$ dar. Bildet man ferner aus den Elementen α_{pq}^0 die Direktverbrauchsmatrix F_{PP} , welche die direkten funktionalen Beziehungen der Zwischen- und Endproduktmengen erfaßt, so läßt sich in Matrixschreibweise das System der Produktgleichungen C.84 formulieren:

$$p^t = F_{PD} \cdot d^t = F_{PP} \cdot F_{PD} \cdot d^t + x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad (\text{C.84})$$

In ihm bezeichnen x_p^t bzw. l_p^t die Vektoren der Absatzmengen bzw. der Lagerendbestände an Zwischen- und Endprodukten im Intervall t.

Die Gleichungssysteme C.83 und C.84 bilden zusammen die Beziehungen zwischen dem originären sowie dem derivativen Gütereinsatz und der Ausbringung eines Intervalls ab. Die Werte ihrer Variablen werden durch die zusätzlich zu berücksichtigenden Nebenbedingungen C.72b bis h und C.82 begrenzt. Das gesamte Produktionsmodell setzt sich aus den Gleichungssystemen C.83 und C.84 sowie den Nebenbedingungen für sämtliche $t = 1, \dots, T$ Intervalle des Betrachtungszeitraums zusammen. Es gibt die quantitativen und die zeitlichen Beziehungen zwischen dem Gütereinsatz und der Güterausbringung im Betrachtungszeitraum wieder. Zugleich enthält es die Interdependenzen zwischen Gütereinsatz bzw. Güterausbringung und den Organisationstatbeständen Losgrößen, Arbeitsverteilung, Gangfolgen und Leistungsabstimmung. Deshalb stellt es ein umfassendes produktions- und organisationstheoretisches Aussagensystem dar.

Ein wichtiges Merkmal dieses Aussagensystems besteht darin, daß die Gütereinsatzseite und die Güterausbringungsseite durch unterschiedliche Gleichungssysteme (C.83 und C.84) erfaßt werden. Die Verbindung zwischen diesen Gleichungssystemen wird durch die Fertigungszeitvariablen d^t und die Umrüstvariablen u^t hergestellt, die in beiden Systemen als unabhängige Varia-

¹ Durch den Verzicht auf die Berücksichtigung des Anfalls von Ausschuß vereinfacht sich die Herleitung des nachfolgenden Ergebnisses, ohne daß dessen Geltung von der Beachtung der Ausschußkoeffizienten beeinflußt wird.

blen auftreten. In der Produktionstheorie ist man jedoch bestrebt, die Einsatzgütermengen unmittelbar und eindeutig in Abhängigkeit von den Absatz- und Lagermengen zu bestimmen. Aus diesem Grund ist zu prüfen, ob die hierzu erforderlichen Umformungen der Gleichungssysteme C.83 und C.84 durchführbar sind.

Zu diesem Zweck sollte man das Gleichungssystem C.84 nach dem Vektor der Fertigungszeitvariablen d^t auflösen können und den sich für d^t ergebenden Ausdruck in das Gleichungssystem C.83 einsetzen. Man müßte C.84 so umformen können, daß sich der Vektor der Fertigungszeitvariablen d^t in Abhängigkeit von den Herstellungsmengen der Produkte

$$d^t = F_{PD}^{-1} \cdot p^t \quad (\text{C.85})$$

bzw. in Abhängigkeit von den Absatzmengen und Lagerendbeständen

$$\begin{aligned} d^t &= [(E_{PP} - F_{PP}) \cdot F_{PD}]^{-1} \cdot (x_p^t + \ell_p^t - \ell_p^{t-1}) \\ &= F_{PD}^{-1} \cdot (E_{PP} - F_{PP})^{-1} \cdot (x_p^t + \ell_p^t - \ell_p^{t-1}) \end{aligned} \quad (\text{C.86})$$

bestimmen läßt². Eine derartige Umformung von C.84 ist nur möglich, wenn die Direktverbrauchsmatrix F_{PD} und die Matrix $(E_{PP} - F_{PP})$ invertierbar sind. Die Existenz der Kehrmatrix von $(E_{PP} - F_{PP})$ kann im allgemeinen unterstellt werden³. Dagegen setzt eine Invertierbarkeit von F_{PD} voraus, daß diese Matrix quadratisch ist. Dies bedeutet, daß die Zahl der unterschiedenen Teilprozesse und damit der Fertigungszeitvariablen genau der Anzahl an Zwischen- und Endproduktarten entsprechen muß. Die Matrix F_{PD} ist quadratisch, sofern jede Produktiveinheit nur mit einem Intensitätsgrad arbeitet und jede Produktart lediglich von einer Produktiveinheit erzeugt wird⁴. Bei mehreren Intensitätsgraden je Produktiveinheit und/oder variabler Arbeitsverteilung ist die Direktverbrauchsmatrix F_{PD} jedoch nicht quadratisch und somit nicht invertierbar. Dieser Tatbestand wird deutlich erkennbar, wenn man das Gleichungssystem

$$p^t = F_{PD} \cdot d^t$$

ausführlich anschreibt:

² Berücksichtigt man die Ausschußkoeffizienten Ψ und faßt diese zu einer Ausschußkoeffizientenmatrix C_{PP} zusammen, so müßte die Kehrmatrix von $(C_{PP} - F_{PP}) \cdot F_{PD}$ ermittelt werden können.

³ Vgl. Seite 71 ff.

⁴ Die Direktverbrauchsmatrix F_{PD} ist aber quadratisch, wenn lediglich jede Produktiveinheit mehrere Produktarten erzeugt und die Arbeitsverteilungen und die Intensitäten nicht variabel sind. In diesem Fall wird nämlich für jede Produktart eine eigene Fertigungszeitvariable d_{pm}^t definiert.

$$\begin{bmatrix} p_1^t \\ p_2^t \\ \vdots \\ p_p^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{111} \dots p_{11\Delta} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & p_{1M1} \dots p_{1M\Delta} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & p_{211} \dots p_{21\Delta} & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & p_{2M1} \dots p_{2M\Delta} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & p_{p11} \dots p_{p1\Delta} & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & p_{pM1} \dots p_{pM\Delta} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{111}^t \\ \vdots \\ d_{1M1}^t \\ \vdots \\ d_{211}^t \\ \vdots \\ d_{2M1}^t \\ \vdots \\ \vdots \\ d_{p11}^t \\ \vdots \\ d_{pM1}^t \\ \vdots \\ d_{pM\Delta}^t \end{bmatrix}$$

$$p^t = F_{PD} \cdot d^t$$

Da bei variablen Intensitäten und/oder variablen Arbeitsverteilungen dieselbe Produktart mit unterschiedlichen Intensitätsgraden und/oder von verschiedenen Produktiveinheiten erzeugt werden kann, ist die Zahl der (Produkt-)Zeilen von F_{PD} geringer als die Zahl ihrer (Prozeß-)Spalten. Dieser Tatbestand gilt auch, wenn man für den Fall geschlossener Produktion anstelle von C.84 eine Produktionsfunktion mit Verweilzeiten größer als Null verwendet.

Im Fall variabler Intensitäten und/oder variabler Arbeitsverteilung ist somit die mathematische Funktion (Abbildung) f aus C.84

$$p^t = f(d^t)$$

nicht injektiv. Sie ordnet wohl jeder Kombination der Fertigungszeiten eine bestimmte Ausbringungsmengenkombination eindeutig zu. Jedoch kann dieselbe Kombination der Ausbringungsmengen durch unterschiedliche Kombinationen der Fertigungszeiten, d. h. unterschiedliche Kombinationen der Intensitätsgrade und/oder Arbeitsverteilungen, erzeugt werden. Daher existiert die Umkehrfunktion von f nicht. Daraus folgt, daß die Beziehungen zwischen den Einsatzgütermengen und den Ausbringungsmengen bei variabler Intensität und/oder variabler Arbeitsverteilung vieldeutig sind. Sie stellen im mengentheoretischen Sinn keine Funktion, sondern eine Relation dar⁵. Die Einsatzgütermengen sind nach C.83 auch von den Werten der Umrüstvariablen abhängig. Die Ausprägung der Umrüstvariablen ergibt sich entsprechend den Nebenbedingungen C.72e

⁵ Dieser Tatbestand wird angedeutet bei Eichhorn [Produktionsfunktion] 2 ff. und Eichhorn [Besprechung] 222 f.

$$u_{qpm}^t \geq \sum_{\delta} z_{qpm\delta}^{t-1} + \sum_{\delta} z_{pm\delta}^t - 1$$

aus den Werten der Zuordnungsvariablen. Letztere sind über die Nebenbedingungen C.72b

$$d_{pm\delta}^t \leq z_{pm\delta}^t D$$

mit den Fertigungszeitvariablen verbunden. Aufgrund dieser Nebenbedingungen ist jeder Wertekombination der Zuordnungsvariablen und der Fertigungszeitvariablen eine bestimmte Wertekombination der Umrüstvariablen eindeutig zugeordnet⁶. Maßgebend für die Werte der Umrüstvariablen sind die Ausprägungen der Fertigungszeitvariablen im Zeitablauf und nicht nur im jeweiligen Intervall. Darin kommt zum Ausdruck, daß sie zusätzlich von den Gangfolgen bestimmt werden.

Das umfassende produktions- und organisationstheoretische Aussagensystem des aus den Gleichungssystemen C.83 und C.84 sowie den Nebenbedingungen C.72b–h und C.82 für alle Intervalle formulierten Produktionsmodells enthält eine Vielzahl von Bestimmungsgrößen der Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung. Diese Bestimmungsgrößen gliedern sich (1) in Strukturierungstatbestände, deren Ausprägung im formulierten Produktionsmodell als vorgegeben und konstant unterstellt werden, (2) von diesen abhängige unbeeinflußbare Koeffizienten und (3) in Strukturierungstatbestände, deren Ausprägungen im Modell variabel sind. Abbildung 24 auf Seite 180 gibt einen Überblick über die berücksichtigten Bestimmungsgrößen und die Art ihrer Erfassung im Produktionsmodell. In einer Vielzahl industrieller Produktionsprozesse sind diese Bestimmungsgrößen wirksam. Deshalb erscheint die Annahme berechtigt, daß drei grundlegende Strukturmerkmale des formulierten produktions- und organisationstheoretischen Aussagensystems eine wichtige empirische Bedeutung besitzen. Die Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung sind

1. weitgehend mittelbar
2. mehrvariabilig und
3. vieldeutig.

Die *Mittelbarkeit* der Input-Output-Beziehungen ist von *Erich Gutenberg* für den Einsatz von Betriebsstoffen gezeigt worden⁷. Sie gilt aber auch weitgehend für den Einsatz an menschlicher und maschineller Arbeit. Insbesondere die organisatorischen Tatbestände der Arbeitsverteilung, der Leistungsab- und der Gangfolgenbestimmung bewirken, daß die Gütereinsatzmengen und deren zeitliche Verteilung nicht unmittelbar von der Güterausbringung abhängen. Ferner stellen die Ausbringungsmengen nicht die einzigen *Handlungsvariablen*

⁶ Jedoch ergibt sich dieselbe Wertekombination der Umrüstvariablen bei unterschiedlichen Ausprägungen der Fertigungszeitvariablen.

⁷ Gutenberg [Produktion] 326 ff.

Bestimmungsgrößen der Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung	Abbildung der Bestimmungsgrößen im Produktionsmodell
1. Vorgegebene konstante Strukturierungstatbestände	
11 Ausstattung mit Arbeitskräften 12 Ausstattung mit maschinellen Anlagen 13 Zuordnung von Arbeitskräften zu maschinellen Anlagen 14 Potentielles Produktionsprogramm	Menge der Arbeitskräfte a Menge der maschinellen Anlagen $m=1, \dots, M$ Menge der zugeordneten Anlagen n_a je Arbeitskraft a in C.75 Menge der Produktarten $p=1, \dots, P$
2. Von den vorgegebenen Strukturierungstatbeständen abhängige Koeffizienten	
21 Struktur der Produktiveinheiten	
211 Herstellbare Produktarten 212 Mögliche Intensitäten 213 Rüstzeiten 214 Ausschußquoten 215 Erforderlicher menschlicher Arbeitseinsatz 216 Betriebsstoffeinsatz 217 Quantitative Leistungsfähigkeit	Menge der Produktarten p in $\alpha_{pm\delta}$ (bzw. in Q_{pm}) δ in $\zeta_{pm\delta}$ h_{apm} $\psi_{pm\delta}$ $h_{qpm}, \epsilon_{pm}, u_m, n_m$ $s_{bm\delta}, Y_{bm}$ $\alpha_{pm\delta}$ (bzw. Q_{pm})
22 Struktur der Stückprozesse	
221 Vergenz des Objektflusses 222 Operationenfolgen der Stückprozesse	α_{rp}, α_{pq} α_{pq} und $\alpha_{pm\delta}$
3. Als Modellvariablen behandelte Strukturierungstatbestände	
31 Aktuelles Produktionsprogramm	
311 Absatzmengen	x_p^t, x_r^t, x_b^t
312 Herstellungsmengen	t_p^t
313 Lagerbestände	l_p^t, l_r^t, l_b^t
32 Beschaffungsprogramm	e_r^t, e_b^t
33 Losgrößen	$d_{pm\delta}^{t+k}, \dots, d_{pm\delta}^{t+k}, \dots, d_{pm\delta}^{t+k}$
34 Arbeitsverteilung	$z_{pm\delta}^t, d_{pm\delta}^t$
35 Leistungsbestimmung	$z_{pm\delta}^1, \dots, z_{pm\delta}^T$ bzw. $d_{pm\delta}^1, \dots, d_{pm\delta}^T$
36 Gangfolgen	

Abb. 24: Überblick über die im Produktionsmodell bei konstanter Struktur der Produktiveinheiten erfassten Bestimmungsgrößen der Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung

dar, von deren Festlegung die Höhe des Gütereinsatzes bestimmt wird⁸. Ein-variablige Produktionsfunktionen und die mehrvariablen Produktionsfunktionen, welche die Ausbringungsmengen verschiedenartiger Produkte als einzige Bestimmungsgrößen enthalten, vernachlässigen den Einfluß wichtiger Strukturierungstatbestände des Produktionsprozesses. Sie geben daher kein homomorphes Abbild der Realität. Schließlich sind die Input-Output-Beziehungen aufgrund organisatorischer Bestimmungsgrößen selbst dann *vieldeutig*, wenn in den einzelnen Teilprozessen die Einsatzgüter nicht substituierbar sind. Produktionsfunktionen, welche die Bestimmungsgrößen Arbeitsverteilung und Leistungsbestimmung einschließen, besitzen mengentheoretisch die Strukturmerkmale von Relationen.

c) Bedeutung der Organisationstatbestände des Produktionsvollzugs für die Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung

Grundlegende Variablen des formulierten Produktionsmodells sind die Fertigungszeitvariablen $d_{pm\delta}^t$. Sie geben an, wie lange eine Produktart p während des Intervalls t von einer Produktiveinheit m mit einer Intensität δ erzeugt wird¹. Jedem Wert einer Fertigungszeitvariablen ist ein bestimmter Wert der ihr entsprechenden Zuordnungsvariablen nach den Nebenbedingungen C.72b, c und d eindeutig zugeordnet. In den Werten der Fertigungszeitvariablen kommen die Arbeitsverteilung, die Intensitäten der Produktiveinheiten, die Losgrößen sowie Prozeßdauern und die Gangfolgen zum Ausdruck. Ferner sind von den Fertigungszeitvariablen über die Zuordnungsvariablen die Werte der Umrüstvariablen abhängig.

Die Ausprägungen der Fertigungszeitvariablen bestimmen nach den Gleichungssystemen C.83 und C.84 die mengenmäßige und die zeitliche Struktur einerseits des Gütereinsatzes und andererseits der Güterausbringung. Deshalb ist zu untersuchen, welchen Einfluß die einzelnen durch sie erfaßten Organisationstatbestände des Produktionsvollzugs ausüben.

Durch die *Arbeitsverteilung* wird bestimmt, von welchen Produktiveinheiten die Zwischen- und Endproduktarten jeweils erzeugt werden. Damit werden die technologischen Verfahren ihrer Herstellung festgelegt. Vielfach ist es möglich, dieselbe Produktart von Produktiveinheiten mit unterschiedlichen technologischen Eigenschaften und Mechanisierungsgraden fertigen zu lassen. Dann hängt es von der Ausstattung einer Unternehmung mit Produktiveinheiten ab, inwieweit die Arbeitsverteilung eine Auswahl unter mehreren technologischen

⁸ Gutenberg [Produktion] 329 ff. und 361 ff.; Heinen [Kostenlehre] 224 ff. und 264 ff.; Schweitzer [Kostenremanenz] 970 ff.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 48 ff.; Lücke [Qualitätsprobleme] 290 ff.

¹ Im Produktionsmengenmodell mit konstanten Intervalldauern sind die Fertigungszeiten entsprechend Gleichung C.49 (Seite 158) ebenfalls implizit enthalten.

Verfahren einschließt. Dabei ist nicht ausgeschlossen, daß bei einzelnen Verfahren die Einsatzgüter substituierbar sind. Sofern die Produktiveinheiten unterschiedliche Ausschußkoeffizienten und Produktionsgeschwindigkeiten für dieselbe Produktart aufweisen, beeinflußt die Arbeitsverteilung die Einsatzmenge an Werkstoffen² sowie die Einsatz- und Ausbringungsmengen je Zeiteinheit. Sie kann sich also auf die in einem Zeitraum maximal herstellbaren Mengen auswirken. Des weiteren wird durch die Arbeitsverteilung bestimmt, welche Arten an menschlicher und maschineller Arbeit zur Fertigung der einzelnen Produktarten verbraucht werden. Da die Einsatzmengen an menschlicher und maschineller Arbeit sowie die einzusetzenden Betriebsstoffarten und -mengen je Produkteinheit von den Eigenschaften der Produktiveinheiten abhängen, hat die Arbeitsverteilung auch einen indirekten Einfluß auf die Verbrauchsmengen dieser Einsatzgüter.

Die zeitliche Verteilung von Gütereinsatz und -ausbringung wird durch die Arbeitsverteilung indirekt beeinflußt. Über die Arbeitsverteilung werden jeder Produktiveinheit die von ihr zu bearbeitenden Produkte zugeordnet. Damit wird der Lösungsraum möglicher Gangfolgealternativen für jede Produktiveinheit definiert. Des weiteren werden durch die Arbeitsverteilung die für die Losgrößen und die Leistungsabstimmung maßgeblichen Stückzeiten und Rüstzeiten der Produkte festgelegt. Bei vorgegebenen Standorten der Produktiveinheiten ergeben sich aus der Arbeitsverteilung auch die Orte, an denen die Produktarten hergestellt werden. Somit hat sie Einfluß auf die Transportwege.

Die *Losgrößen* sind daraus ersichtlich, wie lange jede Produktart von einer Produktiveinheit ohne Umrüstung mit konstanter oder variierter Geschwindigkeit erzeugt wird. Sie sind also durch die Prozeßdauern determiniert. Die Summe aller Losgrößen einer Produktart entspricht deren Herstellungsmenge im Betrachtungszeitraum. Gemeinsam mit Arbeitsverteilung und Leistungsabstimmung sind die Herstellungsmengen maßgebend für die gesamten Einsatzmengen an Werkstoffen, menschlicher und maschineller Arbeit sowie an Betriebsstoffen. Aus den Herstellungsmengen im Betrachtungszeitraum und den Losgrößen einer Produktart folgt die Zahl ihrer Auflegungen. Durch die Rüstprozesse wird die zur Produkterzeugung verfügbare Kapazität der Produktiveinheiten vermindert. Deshalb hat die Zahl der Lose Einfluß auf die maximal herstellbaren Produktmengen je Intervall und Betrachtungszeitraum³. Zusätzlich werden durch die Zahl und Art der Umrüstungen die Einsatzmengen an menschlicher und maschineller Arbeit sowie gegebenenfalls an Betriebsstoffen während der Rüstprozesse bestimmt. Die zeitliche Struktur von Gütereinsatz und Güterausbringung wird durch die Losgrößen beeinflußt, weil die Warte- oder Lagerzeiten von Produkten bzw. Aufträgen auch davon abhängen, wie

² Adam [Kostentheorie] 67 ff.

³ Bei veränderlicher Struktur der Produktiveinheiten können Lernprozesse wirksam sein, deren Ausmaß von den Losgrößen beeinflußt wird. Vgl. Zierul [Arbeit] 220 ff.; Schumacher [Berücksichtigung] 391 ff.

lange eine Produktiveinheit durch vorausgehende Lose belegt ist. Bei geschlossener Produktion wirkt sich die Losgröße darüber hinaus auf die Wartezeit jeder Produkteinheit während der Bearbeitung ihres eigenen Loses aus. Daran wird deutlich, daß die Chargengrößen der Transportprozesse eine wichtige Bestimmungsgröße des zeitlichen Vollzugs der Produktion darstellen.

Die *Leistungsabstimmung*, die in der Wahl der Intensitäten bzw. Produktionsgeschwindigkeiten der verschiedenen Produktiveinheiten zum Ausdruck kommt, beeinflußt die Herstellungsmengen an Produkten innerhalb eines Zeitraums. Bei intensitätsabhängigen Ausschußkoeffizienten wirkt sie sich auf die Einsatzmengen an Werkstoffen je fehlerfreier Produkteinheit aus⁴. Ferner sind die Intensitäten für die Verbrauchsmengen an Betriebsstoffen bestimmd. Schließlich hängt auch die Zeitdauer des Einsatzes an menschlicher und maschineller Arbeit je Produkteinheit von den Intensitäten und damit von der Leistungsabstimmung ab. Da über die Leistungsabstimmung die Fertigungszeiten je Stück festgelegt werden, hat sie einen indirekten Einfluß auf die Zeitpunkte von Gütereinsatz und Güterausbringung.

Die Festlegung der *Gangfolgen* und ihrer zeitlichen Anordnung ist in erster Linie bestimmd für die zeitliche Verteilung der Herstellungsmengen sowie der von dieser abhängigen zeitlichen Verteilung des Gütereinsatzes. Aus ihr folgt, welche Produkteinheiten und Produktarten nacheinander von einer Produktiveinheit gefertigt werden. Daraus ergibt sich, wann Rüstprozesse durchzuführen sind. Bei reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten wirken sich die Gangfolgen nicht nur auf den zeitlichen Vollzug des Produktionsprozesses aus. In diesem Fall haben sie Einfluß auf den Kapazitätsanteil der Produktiveinheiten, der für Rüstprozesse benötigt wird. Dann sind die im Intervall bzw. Betrachtungszeitraum maximal herstellbaren Produktmengen auch von den Gangfolgen abhängig. Diese Analyse zeigt, daß jeder Organisationstatbestand des Produktionsvollzugs einen direkten oder indirekten Einfluß sowohl auf die Mengen- als auch auf die Zeitstruktur der Input-Output-Beziehungen hat. Darüber hinaus wird deutlich, daß die Einflüsse *interdependent* sind, weil die Auswirkungen eines jeden dieser Organisationstatbestände auf Mengen- und Zeitstruktur von den Ausprägungen der jeweils anderen Tatbestände abhängig sind. Im entwickelten Produktionsmodell zeigt sich dies darin, daß die Ausprägungen der Fertigungszeitvariablen $d_{pm\delta}^t$ zugleich von der Arbeitsverteilung, den Losgrößen, der Leistungsabstimmung und den Gangfolgen determiniert werden.

Die Bedeutung der Fertigungszeitvariablen $d_{pm\delta}^t$ lässt sich empirisch damit begründen, daß die Arbeitsverteilung, die Losgrößen und Prozeßdauern, die Leistungsbestimmung sowie die Gangfolgen die „eigentlichen“ Handlungsgrößen bei der Durchführung von Produktionsprozessen sind⁵. Durch die Ent-

⁴ Vgl. Jacob [Produktionsplanung] 234 f. und 257 ff.; Adam [Kostentheorie] 67 f.

⁵ Diese Aussage erhält eine gewisse Bestätigung in der zahlreichen Verwendung von Fertigungszeiten als Bezugsgrößen der Kosten in der Kostenrechnung.

scheidung, welche Produktarten eine Produktiveinheit mit welchen Intensitäten und in welcher Reihenfolge in den einzelnen Intervallen fertigt, wird ihr Handeln eindeutig determiniert. Von der Festlegung dieser Größen hängen die Ausbringungs- und die Einsatzgütermengen je Intervall sowie im Betrachtungszeitraum ab. Ferner sind diese Strukturierungstatbestände für Art und Anordnung der Rüstprozesse maßgebend. Über die Ausbringungsmengen wird bestimmt, welche Produkte die Unternehmung am Markt anbieten kann. Schließlich wird durch diese Strukturierungstatbestände in Verbindung mit den Entscheidungen über die Beschaffung von Stoffen die Höhe der Lagerbestände festgelegt.

Aus der Vieldeutigkeit der Beziehungen zwischen Einsatz und Ausbringung folgt, daß der Vollzug des Produktionsprozesses sowie der Gütereinsatz durch die Entscheidung über Absatz-, Lager- und Herstellungsmengen nicht eindeutig determiniert werden. Damit hängen auch die Kosten der Gütererzeugung nicht eindeutig von diesen Variablen ab. Deshalb wird es ohne Berücksichtigung der organisatorischen Bestimmungsgrößen Arbeitsverteilung, Losgrößen, Leistungsabstimmung und Gangfolgen nur schwer möglich sein, die Geltung productionstheoretischer Aussagen an der Realität zu überprüfen. Desgleichen besitzen Kostenfunktionen, welche diese Einflußgrößen vernachlässigen, eine begrenzte Bedeutung.

Da Gütereinsatz und Güterausbringung von den Fertigungszeitvariablen $d_{pm\delta}^t$ eindeutig abhängen, sind die Kosten und Leistungen diesen Größen eindeutig zurechenbar. Wegen der Vieldeutigkeit der Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung bei variablen Arbeitsverteilungen, Losgrößen, Intensitätsgraden und Gangfolgen lassen sich jedoch die Kosten den Leistungen mit Hilfe von productionstheoretischen Aussagen nicht eindeutig zurechnen⁶. Daher erscheint es notwendig, die Arbeitsverteilung, Losgrößen, Leistungsabstimmung und Gangfolgen in Kostentheorie sowie Kosten- und Leistungsrechnung in stärkerem Maße als selbständige Bezugsgrößen zu berücksichtigen. Für die Kosten- und Leistungsrechnung ist dabei bedeutsam, daß die Auswirkungen dieser Organisationstatbestände interdependent sind. Deshalb ist es mit Hilfe theoretischer Aussagen vielfach nicht möglich, die Höhe von (Teil-)Kosten oder (Teil-)Leistungen einer dieser Bestimmungsgrößen isoliert zuzurechnen.

d) Möglichkeiten zur Formulierung der Zielfunktion

Die Gütereinsatz- und die Absatzmengen sowie ihre zeitliche Verteilung bilden in der Regel eine wichtige Grundlage zur Formulierung der Zielfunktion. Im folgenden wird unterstellt, daß eine Maximierung des Deckungsbeitrags im

⁶ Diese Überlegungen finden eine Entsprechung in den nicht productionstheoretisch begründeten Ansätzen der Kosten- und Leistungsrechnung von Riebel, insbesondere in seinem Identitätsprinzip. Vgl. hierzu Riebel [Einzelkostenrechnung] 32, 225 f. und 271 ff.; Riebel [Deckungsbeitrag] 1141 f.

Betrachtungs- und Planungszeitraum angestrebt wird. Dabei werden nur die Erlöse bzw. Leistungen und Kosten berücksichtigt, deren Höhe von den Variablen des Produktionsmengenmodells abhängig sind¹.

Die Höhe der Erlöse ergibt sich durch Multiplikation der Absatzmengen x_p^t , x_r^t und x_b^t für Produkte, Roh- und Betriebsstoffe mit deren als vorgegeben und konstant angenommenen Stückrlösen π_p , π_r und π_b . Maßgeblich für den Absatz je Intervall ist die Nachfragesituation auf den Absatzmärkten. Da die Analyse von Absatzhypthesen nicht zum Gegenstand dieser Untersuchung gerechnet wird, kann in Anlehnung an Adam² und Pressmar³ vereinfachend unterstellt werden, daß für jedes absetzbare Gut Absatzober- und -untergrenzen bestehen. Bei vorgegebenen Intervalldauern können diese Absatzbeschränkungen für jedes einzelne Intervall anders festgelegt sein. Bezeichnet man mit N_p^t , N_r^t bzw. N_b^t die Obergrenzen und mit N_p^t , N_r^t bzw. N_b^t die Untergrenzen der Nachfrage nach der p-ten Produktart, dem r-ten Rohstoff bzw. dem b-ten Betriebsstoff im Intervall t, so lassen sich die Absatznebenbedingungen C.87 aufstellen:

$$\begin{aligned} N_p^t &\leq x_p^t \leq \bar{N}_p^t && \text{für alle } p, t \\ N_r^t &\leq x_r^t \leq \bar{N}_r^t && \text{für alle } r, t \\ N_b^t &\leq x_b^t \leq \bar{N}_b^t && \text{für alle } b, t \end{aligned} \quad (C.87)$$

Im Fall variabler Intervalldauern können die Absatzbeschränkungen nicht für jedes Intervall prognostiziert werden, weil die Dauer der Intervalle im voraus nicht bekannt ist. Dann kann man wie Pressmar Absatzober- und -untergrenzen für die Absatzmengen im gesamten Betrachtungszeitraum einführen:

$$\begin{aligned} N_p &\leq \sum_t x_p^t \leq \bar{N}_p && \text{für alle } p \\ N_r &\leq \sum_t x_r^t \leq \bar{N}_r && \text{für alle } r \\ N_b &\leq \sum_t x_b^t \leq \bar{N}_b && \text{für alle } b \end{aligned} \quad (C.88)$$

Die Absatzobergrenzen \bar{N}_p , \bar{N}_r bzw. \bar{N}_b und die Absatzuntergrenzen N_p , N_r bzw. N_b geben die im Betrachtungszeitraum höchstens bzw. mindestens absetz-

¹ Zu diesem Grundsatz der relevanten Kosten und Leistungen vgl. Clark [Studies] 49; Horngren [Accounting] 391 ff.; Kilger [Plankostenrechnung] 161 ff.; Riebel [Einzelkostenrechnung] 288; Schweitzer/Hettich/Küpper [Kostenrechnung] 365; Shillinglaw [Accounting] 54 ff.

² Adam [Produktionsplanung] 155 f. Er gibt eine Mindestabsatzmenge und eine zusätzliche, mit einem Bruchteil zu befriedigende Nachfrage vor. Dies entspricht der Angabe von Absatzober- und -untergrenzen.

³ Pressmar [Modelle] 467. Zu einem Druckfehler bei Pressmar vgl. Küpper [Programmierungsmodelle] 43.

baren Gesamtmengen der Produktart p, des Rohstoffes r bzw. des Betriebsstoffes b wieder. Um in den Modellen mit variablen Intervalldauern Schwankungen der Nachfrage im Betrachtungszeitraum zu erfassen, kann dieser in Teilperioden mit vorgegebener Dauer zerlegt werden, denen jeweils eine bestimmte Zahl von Intervallen zugeordnet wird. Dann können für jede Teilperiode Absatzbeschränkungen prognostiziert werden. Ferner können in die Mindestabsatzmengen vorgegebene Liefertermine einzelner Produktarten einbezogen werden.

Die Erlöse E des gesamten Betrachtungszeitraums werden durch Gleichung C.89 ermittelt:

$$E = \sum_t [\sum_p \pi_p \cdot x_p^t + \sum_r \pi_r \cdot x_r^t + \sum_b \pi_b \cdot x_b^t] \quad (C.89)$$

Als wichtigste Kostenarten sind variable Vertriebs-, Material- oder Stoff-, Fertigungs-, Rüst- und Lagerkosten zu berücksichtigen⁴. Sofern sich für die variablen Vertriebskosten Stückkostensätze k_p^v der Produktart p, k_r^v der Rohstoffart r und k_b^v der Betriebsstoffart b ermitteln lassen, ergeben sich die gesamten variablen Vertriebskosten K^v entsprechend Gleichung C.90:

$$K^v = \sum_t [\sum_p k_p^v \cdot x_p^t + \sum_r k_r^v \cdot x_r^t + \sum_b k_b^v \cdot x_b^t] \quad (C.90)$$

Variable Material- oder Stoffkosten fallen für die Beschaffungsmengen e_r^t an Rohstoffen und e_b^t an Betriebsstoffen an. Die konstanten Beschaffungstückkosten k_r^s des r-ten Rohstoffes und k_b^s des b-ten Betriebsstoffes schließen die Einstandspreise und die variablen Kosten des Beschaffungsprozesses ein. Die gesamten Stoffkosten K^s werden durch Gleichung C.91 bestimmt:

$$K^s = \sum_t [\sum_p k_r^s \cdot e_r^t + \sum_b k_b^s \cdot e_b^t] \quad (C.91)$$

Da die Kosten der Betriebsstoffe in Gleichung C.91 und der Betriebsstoffverbrauch in den Lagergleichungen C.81 erfaßt sind, müssen diese Kosten nicht in die Fertigungskosten einbezogen werden. Deshalb umfassen die variablen Fertigungskosten K^f vor allem Fertigungslöhne und gegebenenfalls Leistungsabschreibungen. Sie werden in einem Fertigungskostensatz $k_{pm\delta}^f$ berücksichtigt, der auf die Fertigungszeiten bezogen und nach Produktarten p, Produktiveinheiten m und Intensitätsgraden δ differenziert ist⁵. Mit diesem Fertigungskostensatz können die variablen Fertigungskosten entsprechend Gleichung C.92 ermittelt werden:

$$K^f = \sum_{p,m,\delta,t} k_{pm\delta}^f \cdot d_{pm\delta}^t \quad (C.92)$$

⁴ Vgl. zum folgenden Dinkelbach [Produktionsplanung] 61 ff.; Adam [Produktionsplanung] 156 ff.; Pressmar [Modelle] 467.

⁵ Vgl. hierzu Adam [Produktionsplanung] 156; Pressmar [Modelle] 467.

Sofern jede Umrüstung einer Produktiveinheit m von Produktart q zur Produktart p Kosten in Höhe von k_{qpm}^u verursacht, betragen die Rüstkosten K^u im Betrachtungszeitraum:

$$K^u = \sum_{q,p=1}^P \sum_{m,t} k_{qpm}^u \cdot u_{qpm}^t \quad (C.93)$$

Zur Bestimmung der Kosten der Lagerung⁶ K^l für Produkte, Roh- und Betriebsstoffe kann man vereinfachend unterstellen, daß in jedem Intervall der Durchschnitt aus Lageranfangs- und Lagerendbestand gelagert ist. Wenn für die Produktart p, die Rohstoffart r und die Betriebsstoffart b Lager- und Zinskostensätze k_p^l , k_r^l und k_b^l je Güter- und Zeiteinheit gelten, ergeben sich die gesamten Kosten der Lagerung aus Gleichung C.94:

$$K^l = \frac{1}{2} \cdot \sum_t \left[\sum_p k_p^l (l_p^t - l_p^{t-1}) + \sum_r k_r^l (l_r^t - l_r^{t-1}) + \sum_b k_b^l (l_b^t - l_b^{t-1}) \right] dt \quad (C.94)$$

Diese Lagerkostenfunktion C.94 ist bei variablen Intervalldauern nichtlinear⁷.

Der gesamte Deckungsbeitrag Z setzt sich aus den in den Gleichungen C.89 bis C.94 ermittelten Erlösen und Kosten zusammen. Somit ergibt sich die Zielfunktion C.95:

$$Z = E - K^V - K^S - K^F - K^U - K^L \quad (C.95)$$

Diese Zielfunktion basiert auf einer Reihe von Prämissen und Vereinfachungen. Sie geht davon aus, daß die Lagerbestände an Produkten, Roh- und Betriebsstoffen zu Beginn und am Ende des Betrachtungszeitraums übereinstimmen. Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, so müssen die bewerteten Bestandsänderungen in die Zielfunktion aufgenommen werden⁸. Die Höhe der vorzugebenden Endbestände richtet sich nach den Erwartungen über die Zeit jenseits des Betrachtungszeitraums.

Schwierige Probleme der Kostenverteilung können vor allem bei der Ermittlung der (geplanten) Fertigungskostensätze k_{pm}^f , der Rüstkostensätze k_{qpm}^u sowie der Lager- und Zinskostensätze k_p^l , k_r^l bzw. k_b^l für Produkte, Roh- bzw. Betriebsstoffe auftreten. Deshalb kann man versuchen, diese Kosten unmittelbar durch die Kostenarten zu erfassen, aus denen sie sich zusammensetzen.

⁶ Vgl. auch Reichmann [Anpassungsprozesse] 766 ff.; Schneiderhan [Abstimmung] 69 ff.

⁷ Zur Lösung des nichtlinearen Ansatzes vgl. Pressmar [Modelle] 468 und 473; Pressmar [Einsatzmöglichkeiten] 232.

⁸ Zu diesem Problem vgl. Adam [Produktionsplanung] 154 f.

In dem entwickelten Produktionsmodell werden in den Gleichungen C.75 und C.74 die Einsatzzeiten r_a^t jeder Arbeitskraft a und r_m^t jeder maschinellen Anlage m ermittelt. Diese Variablen stellen Bezugsgrößen für die unmittelbare Zurechnung der Lohnkosten und der Leistungsabschreibungen dar, sofern die Höhe dieser Kostenarten von den in den Gleichungen C.75 und C.74 enthaltenen Arbeitszeiten der Arbeitskräfte und Anlagen abhängig sind. Maßgebend für die Berücksichtigung von Lohnkosten bzw. Abschreibungen im Produktionsmodell sind aber die in der Unternehmung angewandten Lohnformen bzw. die als wirksam erachteten Abschreibungssachen. Die Einsatzzeiten r_a^t und r_m^t der menschlichen bzw. maschinellen Arbeit beziehen sich auch auf Rüstprozesse. Sofern die Lohnkosten und die Leistungsabschreibungen auf diese Einsatzzeiten bezogen werden können, umfassen sie daher die Rüstkosten. Die Zurechnung von Lohnkosten und Leistungsabschreibungen auf die Einsatzzeiten von Arbeitskräften und maschinellen Anlagen setzt jedoch ebenfalls die Lösung von Kostenverteilungsproblemen voraus, weil das entwickelte Produktionsmodell durch die Prämisse vorgegebener Struktur der Produktiveinheiten wichtige Bestimmungsgrößen dieser Kostenarten nicht enthält.

Durch die Berechnung der Lagerkosten entsprechend Gleichung C.94 aus dem Durchschnitt von Lageranfangs- und Lagerendbestand je Intervall wird die Entwicklung der Lagerbestände innerhalb der Intervalle außer acht gelassen. Die Durchschnittsbildung ist vor allem dann nicht korrekt, wenn ein Lageranfangsbestand schnell abgebaut wird und der tatsächliche Lagerbestand innerhalb eines längeren Teils des Intervalls gleich Null ist. Dann wird der durchschnittliche Bestand zu hoch ausgewiesen⁹. Ferner beruht die Ermittlung der Durchschnittsbestände auf der Prämisse, daß die Lagerzu- und -abgänge kontinuierlich oder in der Mitte der einzelnen Intervalle erfolgen.

Darüber hinaus ist zu prüfen, für welche Güter jeweils die Kosten der Lagerung entstehen. Kosten für Lagerraum, Lagerpersonal oder die Pflege gelagerter Güter werden durch die Güter verursacht, die sich am Lager befinden und nicht an den Produktiveinheiten bereitgestellt bzw. in Bearbeitung sind. Dagegen fallen Zinskosten sowohl für die im Lager aufbewahrten als auch für die bereitgestellten bzw. gerade bearbeiteten Güter an¹⁰. Aus diesem Grund bietet es sich an, die eigentlichen Lagerkosten und die Zinskosten getrennt zu bestimmen. Die reinen Lagerkosten können auf die Lagerbestandsvariablen bezogen werden. Sofern im Produktionsmodell Verweilzeiten von einem oder mehreren Intervallen angenommen werden, geben diese Variablen lediglich die Gü-

⁹ Vgl. Dellmann [Entscheidungsmodelle] 176 ff.; Neuvians [Produktionsplanung] 73 ff. Ist z. B. bei einer Intervalldauer von einem Tag ein Anfangsbestand von 100 Stück nach einem halben Tag abgebaut und findet kein Lagerzugang statt, so ist der tatsächliche Durchschnittsbestand nicht 50, sondern 25 Stück.

¹⁰ Auf diese Zusammensetzung der Lagerkosten ist es wohl zurückzuführen, daß Dinkelbach, Adam und Dellmann jeweils von anderen Lagermengen ausgehen. Dinkelbach [Produktionsplanung] 64 f.; Adam [Produktionsplanung] 158 f.; Dellmann [Entscheidungsmodelle] 172 ff.

termengen wieder, die sich am Lager befinden¹¹. Durch die Einführung von Lagernebenbedingungen und von Einsatzfunktionen für die im Lager eingesetzten Arbeitskräfte und Anlagen kann der Ansatz für die reinen Lagerkosten weiter verfeinert werden.

Um die Zinskosten exakt zu ermitteln, müßten die Bestimmungsgrößen der Einnahmen und Ausgaben in das Produktionsmodell eingeführt werden. Näherungsweise kann man aber davon ausgehen, daß die Höhe der Kapitalbindung durch die Erlöse sowie die Vertriebs-, Stoff-, Fertigungs-, Rüst- und Lagerkosten verändert wird¹². Dann erscheint es grundsätzlich möglich, die Höhe der von den Variablen des Produktionsmodells abhängigen Kapitalbindung und Zinskosten direkt zu bestimmen. Durch die skizzierten Erweiterungen lassen sich die Kosten der Lagerung präziser erfassen.

3. Programm-, Organisations- und Vergenztypen als Bestimmungsgrößen des produktions- und organisationstheoretischen Aussagensystems

In den formulierten Produktionsmodellen wird davon ausgegangen, daß die Strukturierungstatbestände der Produktionsbereitschaft konstant sind. Daher ist zu analysieren, welchen Einfluß ihre vorgegebene Ausprägung auf die Struktur der Interdependenzen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung sowie Arbeitsverteilung, Losgrößen, Leistungsabstimmung und Gangfolgen hat. Diese Untersuchung konzentriert sich auf die Zusammensetzung des potentiellen Produktionsprogramms, den Organisationstyp der Fertigung und die Vergenz des Objektflusses, weil diesen Strukturierungstatbeständen eine besondere Bedeutung für die Organisation des Produktionsprozesses beigemessen wird. Im folgenden wird stets der Fall einer mehrstufigen Mehrproduktfertigung unterstellt, bei der die Operationenfolgen der Stückprozesse technologisch vorgegeben sind.

a) Kombinationsformen von Programm-, Organisations- und Vergenztypen

Zweckmäßigerweise wird die Analyse auf jene Kombinationsformen von Programm-, Organisations- und Vergenztypen ausgerichtet, die in der Realität besonders zahlreich vorkommen. In der Literatur¹ finden sich in begrenztem Umfang Aussagen über die Häufigkeit der einzelnen Kombinationsformen.

¹¹ Vgl. Seite 85. Bei einer Verweilzeit von Null wird dagegen nicht zwischen gelagerten, bereitgestellten und bearbeiteten Gütern differenziert.

¹² Vgl. Pressmar [Modelle] 464 ff.

¹ Vgl. insbesondere Heber/Nowak [Betriebstyp] 141 ff.; Kölbel/Schulze [Produktionstypen] 149 ff.; Mellerowicz [Industrie] 310 ff.; Schäfer [Industriebetrieb 2] 308 ff.; Arnold u. a. [Produktionsprozeß] 87 ff.; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 313 ff.

Diese Aussagen sind jedoch wenig präzise und nicht durch empirische Erhebungen quantitativ untermauert. Da eine eigene empirische Erhebung den Rahmen dieser Untersuchung übersteigt, muß zusätzlich auf Plausibilitätsüberlegungen zurückgegriffen werden.

Bei einer Gegenüberstellung von *Programm-* und *Organisationstypen* in der Industrie werden in der Regel einerseits die Fließfertigung der Massen-, Sorten- und Großserienfertigung und andererseits die Werkstattfertigung der Kleinserien- und der Einzelfertigung zugeordnet². Maßgebend für eine Anordnung der Produktiveinheiten nach dem Fließprinzip ist eine weitgehende Übereinstimmung in den Operationenfolgen der Stückprozesse. Diese Voraussetzung ist bei der Erzeugung eines homogenen (Massen-)Gutes sowie häufig bei eng verwandten (Sorten-)Produkten erfüllt. Ferner kann bei der Herstellung von Großserien eine Umstellung der Fertigungslinie auf verschiedene Serienprodukte möglich und zweckmäßig sein. Jedoch dürfen die Operationen, die an verschiedenen Produkten einer Sorte oder unterschiedlicher Großserien durchgeführt werden, nicht zu stark voneinander abweichen³.

Setzt sich das Produktionsprogramm aus einer Vielzahl von Produktarten zusammen, die als Einzelprodukte oder in kleinen Serien gefertigt werden, so weisen die in einem Zeitraum durchzuführenden Stückprozesse in der Regel nur verhältnismäßig wenige übereinstimmende Operationenfolgen auf. Dann läßt sich aus den Operationenfolgen keine einheitliche Anordnung der Produktiveinheiten herleiten. Daher werden Einzelprodukte und Kleinserien in der Regel in Werkstattfertigung hergestellt.

Wichtige Anwendungsbereiche der Fließinsel-fertigung sind die Formen der Kleinserienfertigung, bei denen man gleichartige Teile mit verwandten Operationenfolgen zu Teilefamilien zusammenfaßt⁴. Diese Teile lassen sich in großen Stückzahlen auf Fertigungslinien herstellen, während die Endprodukte in kleinen Stückzahlen in Werkstätten gefertigt werden⁵. Ferner kann Fließinselfertigung auch bei Großserienfertigung auftreten⁶.

Werkstattfließfertigung setzt ebenfalls einen gewissen Grad an Übereinstimmung in den Operationenfolgen verschiedenartiger Stückprozesse voraus. An allen Produktarten müssen weithin gleichartige oder ähnliche Verrichtungen in annähernd gleicher Folge durchzuführen sein. Deshalb ist anzunehmen, daß

² Heber/Nowak [Betriebstyp] 154 ff.; Kalveram [Industriebetriebslehre] 52 ff.; Mellerowicz [Industrie] 311 ff.; Schäfer [Industriebetrieb 1] 171, 181 ff. und 203; REFA [Arbeitsstudium 3] 191 ff.; Bussmann [Fertigungssteuerung] 65 f.; Arnold u. a. [Produktionsprozeß] 87 ff.; Kern [Industriebetriebslehre] 112; Schweizer [Industriebetriebslehre] 120 und 123; Reichwald/Sievi [Produktionswirtschaft] 296 ff.

³ Schäfer [Industriebetrieb 1] 185.

⁴ Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 291.

⁵ Opitz [Teilefamilienfertigung] 101 ff.; Opitz [Grundideen] 270 ff.; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 133; Schäfer [Industriebetrieb 1] 74.

⁶ Vgl. Schäfer [Industriebetrieb 2] 317.

dieser Organisationstyp bei Sorten- und Großserienfertigung angewandt wird, sofern die Produktarten fertigungswirtschaftlich eng verwandt sind⁷.

Abbildung 25 vermittelt einen Überblick über die dargestellten Kombinationsformen von Programm- und Organisationstypen. Häufig vorkommende Kombinationsformen sind durch das Zeichen „+“ gekennzeichnet. Die in den Typologien von *Erich Schäfer*⁸ und *Wigand F. Große-Oetringhaus*⁹ hervorgehobenen Kombinationsformen werden durch die Bezeichnung „Sch“ bzw. „G-Oe“ angedeutet. *Schäfer* meint, daß mit seinen Typen „... wohl die wichtigsten und deutlichsten Möglichkeiten einer realistischen Typenbildung erfaßt (sind)“¹⁰.

Programm-typ Or- ganisa- tionstyp	Massen- fertigung	Sorten- fertigung	Großserien- fertigung	Kleinserien- fertigung	Einzel- fertigung
Fließfertigung	+ Sch, G-Oe	+	+		
Fließinsel- fertigung			Sch +	+	
Werkstattfließ- fertigung		+	+		
Werkstatt- fertigung				+	+
				Sch, G-Oe	Sch, G-Oe

Abb. 25: Kombinationsformen von Programm- und Organisationstypen

Die Zuordnung von *Programm-* zu *Vergenz-* und *Organisationstypen* wird weniger oft untersucht als die Verbindung von Programm- und Organisations-typen. *Paul Riebel* bezeichnet die Sortenfertigung als „besonders typisch und häufig vorkommend“¹¹ bei prozeßbedingter Divergenz. Nach seinen Angaben tritt dieser Vergenztyp ferner bei Serien- und Einzelprodukten häufig auf, während er bei Massenprodukten weniger häufig vorkommt¹². Konvergierende Objektflüsse sind sowohl bei Massen-, Großserien-¹³ und Sortenfertigung als auch bei Kleinserien- und Einzelfertigung¹⁴ vielfach zu beobachten. Demnach scheinen prozeßbedingt divergierende wie konvergierende Objektflüsse mit keinem speziellen Programmtyp verbunden zu sein. Daraus ist zu schließen,

⁷ Schäfer [Industriebetrieb 1] 178; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 285 und 320.

⁸ Schäfer [Industriebetrieb 2] 310 ff.

⁹ Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 319 und 321.

¹⁰ Schäfer [Industriebetrieb 2] 328.

¹¹ Riebel [Kuppelproduktion] 67.

¹² Riebel [Kuppelproduktion] 67.

¹³ REFA [Arbeitsstudium 3] 186; Schäfer [Industriebetrieb 1] 68; Schäfer [Industriebetrieb 2] 312, 317 und 327; Mellerowicz [Industrie] 322 ff.; Hahn, R. [Produktionsplanung] 23.

¹⁴ REFA [Arbeitsstudium 3] 186; Schäfer [Industriebetrieb 1] 75 und 203; Schäfer [Industriebetrieb 2] 310, 315, 317 f. und 326 f.; Mellerowicz [Industrie] 314.

daß sich auch programmbedingt divergierende und umgruppierende Objektflüsse keinem Programmtyp besonders zuordnen lassen. Glatte Stückprozesse werden vor allem bei Massen-, Sorten- und Großserienprodukten genannt¹⁵. Kleinserien- und Einzelprodukten werden sie dagegen nicht zugeordnet. Die Herstellung von Produkten mit glatten Stückprozessen in Kleinserien und Einzelstücken scheint demnach zumindest keine typische industrielle Kombinationsform zu sein. Sie dürfte in erster Linie bei Sonderanfertigungen im Rahmen von Großserien- und Sortenfertigung anzutreffen sein. Aus Abbildung 26 ist ersichtlich, daß eine Vielzahl der Kombinationsformen von Programm- und Vergenztypen als häufig vorkommend einzustufen ist.

Programm- Vergenztyp	Massen- fertigung	Sorten- fertigung	Großserien- fertigung	Kleinserien- fertigung	Einzel- fertigung
Glatter Objektfluß	+	+	+		
Prozeßbedingte Divergenz	+	+	+	+	+
Programmbedingte Divergenz	+	+	+	+	+
Konvergenz	+	+	+	+	+
Umgruppierender Objektfluß	+	+	+	+	+
	6-0e				

Abb. 26: Kombinationsformen von Programm- und Vergenztypen

Über die Kombinationsformen von *Vergenz-* und *Organisationstypen* lassen sich ohne empirische Erhebungen bislang nur wenige Aussagen aus den Zuordnungen von Programmtypen zu Organisations- bzw. Vergenztypen herleiten. Man kann entsprechend Abbildung 27 annehmen, daß eine Organisation nach dem Fließprinzip bei allen Vergenztypen durchgeführt werden kann, sofern der Objektfluß keinen hohen Komplexitätsgrad erreicht¹⁶. Ferner werden konvergierende Objektflüsse bei allen Organisationstypen beobachtet¹⁷. Wenn Werkstattfertigung in erster Linie bei Kleinserien- und Einzelprodukten angewandt wird und diese Programmtypen nur selten glatten Objektfluß aufweisen, läßt sich schließen, daß glatte Stückprozesse und Werkstattfertigung zumindest nicht häufig kombiniert sind. Fließinselfertigung wird in der Regel bei konvergierendem Objektfluß auftreten, weil sich dieser Organisationstyp vor allem bei einer fertigungswirtschaftlichen Verwandtschaft von Teilen und Baugruppen verschiedenartiger (mehrteiliger) Endprodukte anbietet¹⁸. Darüber hinaus wird insbesondere bei Fließinsel- und bei Werkstattfertigung eine programmbedingte Divergenz auftreten, da Teile bzw. Zwischenprodukte in verschiedenartige Endprodukte eingesetzt werden.

¹⁵ Schäfer [Industriebetrieb 1] 75; Schäfer [Industriebetrieb 2] 322 und 325.

¹⁶ Vgl. Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 186 f.

¹⁷ Schäfer [Industriebetrieb 1] 203; Schäfer [Industriebetrieb 2] 315, 320; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 321.

¹⁸ Schäfer [Industriebetrieb 1] 74; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 290 f.

Organisations- ver- genztyp	Fließ- fertigung	Fließinsel- fertigung	Werkstattfließ- fertigung	Werkstatt- fertigung
Glatter Objektfluß	+ Sch, G-Oe		+	
Prozeßbedingte Divergenz	+ Sch, G-Oe			
Programmbedingte Divergenz	+	+		+
Konvergenz	+ Sch, G-Oe	+	+	Sch, G-Oe
Umgruppierender Objektfluß	+			

Abb. 27: Kombinationsformen von Organisations- und Vergenztypen

Durch die Zusammenfassung der Abbildungen 25 bis 27, welche die häufigsten Kombinationsformen von jeweils zwei Merkmalen angeben, gelangt man zu der Abbildung 28. Diese erfaßt alle drei betrachteten Strukturmerkmale zugleich. Aus ihr ist ersichtlich, welche Kombinationsformen von Programm-, Organisations- und Vergenztypen als häufig vorkommend anzusehen und daher in der folgenden Analyse bevorzugt zu berücksichtigen sind.

Organisationstyp	Fließfertigung					Fließinselfertigung				
	Programm- ver- genztyp					Massenf.	Sortenf.	Groß- serienf.	Klein- serienf.	Einzelf.
Glatter Objektfluß	+ Sch, G-Oe	+	+							
Prozeßbedingte Divergenz	+ Sch, G-Oe	+	+							
Programmbedingte Divergenz	+	+	+						+	+
Konvergenz	+	+	+	Sch, G-Oe					+	+
Umgruppierender Objektfluß	+	+	+							
Organisationstyp	Werkstattfließfertigung					Werkstattfertigung				
	Programm- ver- genztyp					Massenf.	Sortenf.	Groß- serienf.	Klein- serienf.	Einzelf.
Glatter Objektfluß		+	+							
Prozeßbedingte Divergenz										
Programmbedingte Divergenz			+	+					+	+
Konvergenz		+	+	G-Oe					+	+
Umgruppierender Objektfluß									Sch, G-Oe	Sch, G-Oe

Abb. 28: Kombinationsformen von Programm-, Organisations- und Vergenztypen

b) Struktur der produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen bei Fließfertigung mit hohem Grad an Leistungsabstimmung

Die Struktur des Produktionsprozesses wird bei Fließfertigung maßgeblich von der Leistungsabstimmung zwischen den Produktiveinheiten oder Stationen einer Fertigungsstraße bestimmt. Bei taktierter (zeitlich gebundener) Fließfertigung wird allen Stationen einer Linie ein bestimmter Arbeitsrhythmus diktiert¹. Durch die Taktvorgabe und die unmittelbare Werkstückweitergabe ohne Zwischenlagerbildung sind die Leistungsprozesse der Stationen eng miteinander verknüpft. Um diese gegenseitige Abhängigkeit zu verringern, richtet man häufig Pufferlager zwischen den Stationen einer Fertigungsstraße ein. Dann können die einzelnen Stationen ohne Taktzwang arbeiten². Durch eine geeignete Festlegung der Arbeitsgänge und Intensitäten kann dennoch ein hoher Grad an Leistungsabstimmung erreicht werden³. Schwankungen im Leistungsgrad oder Maschinenstörungen werden durch die Pufferlager weithin ausgeglichen. Diese beiden Formen der Fließfertigung weisen für die Strukturierung des Produktionsvollzugs wegen der hohen Leistungsabstimmung wichtige gemeinsame Merkmale auf. Sie unterscheiden sich deutlich von einer Fließfertigung, bei der lediglich die Operationenfolgen der Stückprozesse übereinstimmen und die Leistungsgrade der nach dem Objektprinzip angeordneten Produktiveinheiten nicht oder nur in geringem Maße zeitlich abgestimmt sind.

Ein hoher Grad an Leistungsabstimmung lässt sich durch eine zweckmäßige Zusammenfassung der Vorgangselemente eines Stückprozesses zu Arbeitsgängen, ihre Verteilung auf eine festzulegende Anzahl von Stationen der Fertigungsstraße und die Bestimmung der Intensitätsgrade dieser Stationen erzielen. Dieses Strukturierungsproblem der Bildung, Zuordnung und Abstimmung von Arbeitsgängen umfasst desto mehr Alternativen, je weniger die Reihenfolgen der Vorgangselemente technologisch vorgegeben sind. In den hier formulierten Produktionsmengenmodellen wird eine vorgegebene Abgrenzung der Arbeitsgänge vorausgesetzt. Die Bestimmung der Arbeitsgänge je Produktiveinheit, der Stationenzahl einer Fertigungsstraße, ihrer Intensitätsgrade sowie gegebenenfalls der Anzahl und Dimensionierung von Zwischenpuffern wird bei Fließfertigung mit einem hohen Grad an Leistungsabstimmung zu den Strukturierungstatbeständen der Produktionsbereitschaft gerechnet⁴. Aufgrund der

¹ Schweitzer [Industriebetriebslehre] 124 ff.; Mellerowicz [Industrie] 320; REFA [Arbeitsstudium 3] 182; Schäfer [Industriebetrieb 1] 181.

² Hahn, R. [Produktionsplanung] 19 ff.

³ Hahn, R. [Produktionsplanung] 53.

⁴ Zur Abbildung und Lösung dieser Strukturierungstatbestände vgl. Brachvogel/Koxholt [Simulation] 373 ff.; Bowman [Balancing] 385 ff.; Held/Karp/Sharesian [Balancing] 442 ff.; Helgeson/Birnie [Balancing] 394 ff.; Herriger [Simulationsmodelle] 365 ff.; Hoffmann [Balancing] 551 ff.; Klein [Balancing] 274 ff.; Mansoor [Balancing] 73 ff.; Moodie/Young [Balancing] 23 ff.; Steffen [Fließbandfertigung]; Tonge [Balancing] 727 ff.;

hohen Leistungsabstimmung vollzieht sich der Fertigungsprozeß bei Erzeugung einer Produktart annähernd stationär. Soweit keine Störungen auftreten, erfolgen Gütereinsatz und Güterausbringung in Abhängigkeit von der für alle Stationen (fast) gleichen Produktionsgeschwindigkeit kontinuierlich. Die entwickelten Produktionsmengenmodelle sind dagegen darauf ausgerichtet, Veränderungen des Produktionsvollzugs im Zeitablauf zu erfassen. Deshalb sind sie für die Abbildung des Problems der Arbeitsgangbildung und Leistungsbestimmung bei zeitlich abgestimmter Fließfertigung kaum geeignet.

Der stationäre Vollzug des Fertigungsprozesses wird besonders deutlich bei Herstellung eines *Massenprodukts* in zeitlich abgestimmter Fließfertigung. Solange die Fertigung nicht durch Störungen unterbrochen ist, bestehen bei diesem Fertigungstyp eindeutige Beziehungen sowohl zwischen den Einsatz- und Ausbringungsmengen als auch zwischen den Zeitpunkten von Gütereinsatz und Güterausbringung. Die Lagerbildung der Roh-, (Hilfs-) und Betriebsstoffe sowie der Endprodukte hängt von der Strukturierung der Fertigungslinie, den Beschaffungs(teil)mengen und deren Anlieferungszeitpunkten sowie der Absatzgeschwindigkeit und ihren Schwankungen ab. Nach Einrichten der Fertigungslinie liegen weitere Strukturierungstatbestände des Produktionsvollzugs im Ausgleich von Störungen sowie in der Entscheidung über die Fertigungsduer der Linie, sofern die Produktionsgeschwindigkeit die Absatzgeschwindigkeit übersteigt⁵.

Bei der Herstellung von *Sorten-* oder *Großserienprodukten* auf einer oder mehreren Fertigungslinien mit hohem Grad an Leistungsabstimmung treten weitere Strukturierungstatbestände des Produktionsvollzugs auf. Werden verschiedene Produktarten auf derselben Linie gefertigt, so sind die Losgrößen und die Reihenfolgen der Lose festzulegen. Die Umrüstung einer Fertigungslinie beansprucht häufig einen hohen Zeitaufwand. Ihre Dauer kann reihenfolgeabhängig sein. Voraussetzung für die Erzeugung mehrerer Produktarten auf derselben Fertigungslinie sind eine hohe Übereinstimmung in den Stückprozessen der Produktarten oder eine hohe fertigungstechnische Flexibilität der Produktiveinheiten⁶. Man kann annehmen, daß der Grad an Übereinstimmung zwischen den Stückprozessen insbesondere das Verhältnis zwischen den Gangzeiten der Produktarten und die Rüstzeiten beeinflußt. Die Übereinstimmung hinsichtlich der Operationen und der einzusetzenden Roh- (sowie Hilfs-) Stoffe wird bei Sortenfertigung wesentlich größer als bei Großserienfertigung sein.

Wedeck [Fließbandproblem] 245 ff.; zum Überblick vgl. Bussmann u. a. [Fließbandabstimmungsverfahren] 313 ff.; Hahn, R. [Produktionsplanung] 28 ff.; Zimmermann/Sovereign [Models] 445 ff.; zur Berücksichtigung von Lernprozessen vgl. Vazsonyi [Planungsrechnung] 351 ff.; Steffen [Taktzeit] 99 ff.

⁵ In diesem Fall entsteht auch bei Massenfertigung eine Art ‚Losgrößenproblem‘. Vgl. Hahn, R. [Produktionsplanung] 24 f.

⁶ Hahn, R. [Produktionsplanung] 23.

Vielfach sind in einer Unternehmung mehrere Fertigungslinien eingerichtet. Sofern bestimmte Produktarten auf verschiedenen Fertigungslinien herstellbar sind, ergibt sich das zusätzliche Problem der Arbeitsverteilung. Zum Vollzug des Produktionsprozesses ist festzulegen, auf welchen Fertigungslinien die einzelnen Produktarten in welchen Losgrößen und in welcher Reihenfolge hergestellt werden. Die Gütereinsatz- und -ausbringungsmengen, ihre zeitliche Verteilung sowie die Entwicklung der Lagerbestände bei Eingangs- und Fertiglager hängen dann von den Losgrößen bzw. Prozeßdauern je Produktart, den Gangfolgen und der Arbeitsverteilung ab.

Maßgebend für den Einfluß des *Vergenztyps* ist, welche Einsatzgüter im Fertigungsprozeß selbst hergestellt werden. Wenn sich die Fertigungsprozesse bei konvergierendem Objektfluß auf die Montage von Gütern beschränken, die von außerhalb der Unternehmung oder von anderen Unternehmungsbereichen bezogen werden, sind alle Montageprozesse auf einer Fertigungslinie durchführbar. Dann können zum Beispiel alle benötigten Teile bei der ersten Station auf das Band gegeben werden. Wird hingegen ein Teil der Güter selbst erstellt, so müssen mehrere Fertigungslinien eingerichtet werden, die entsprechend der Konvergenz des Objektflusses zusammenlaufen⁷. Umgekehrt verzweigt sich eine Fertigungslinie bei prozeß- oder programmbedingter Divergenz. Die Teilmengen der auf einer Hauptlinie erzeugten Produktart werden bei programmbedingter Divergenz zur Herstellung verschiedenartiger Endprodukte in mehreren direkt anschließenden Fertigungslinien eingesetzt. Bei prozeßbedingter Divergenz werden die Produkte der Hauptlinie aufgespalten und die entstehenden Kuppelprodukte in den sich direkt anschließenden Zweigen weiterverarbeitet. Im Fall eines umgruppierenden Objektflusses kann es eine Produktiveinheit geben, bei der einerseits mehrere Fertigungslinien zusammenfließen und von der andererseits verschiedene Linien ausgehen.

Umfaßt der Fertigungsprozeß zusammenlaufende und/oder sich verzweigende Fertigungslinien, so sind die Strukturierung und Leistungsbestimmung jeder Linie so vorzunehmen, daß auch die Leistungsgrade der miteinander verbundenen verschiedenen Linien genau abgestimmt sind. Das Verhältnis ihrer Taktzeiten richtet sich nach der Vergenz des Objektflusses und den Produktionskoeffizienten zwischen den Produkten der liefernden und der belieferten Linie. Beispielsweise müssen sich die Taktzeiten bei konvergierenden Fertigungslinien wie die Produktionskoeffizienten verhalten. Sofern der gesamte Fertigungsprozeß mit einem hohen Grad an Leistungsabstimmung durchgeführt werden soll, wird auch die Leistungsabstimmung der aufgrund eines konvergierenden, divergierenden oder umgruppierenden Objektflusses miteinander verbundenen Fertigungslinien zu den Strukturierungstatbeständen der Produktionsbereitschaft gerechnet.

⁷ Zu verschiedenen Beispielen vgl. REFA [Arbeitsstudium 3] 196 ff. Zur Bestimmung der Zeitplanung zusammenfließender Fertigungslinien vgl. Vazsonyi [Planungsrechnung] 355 ff.

Durch die enge Verknüpfung der Arbeitsgänge einer Fertigungsline mit hohem Grad an Leistungsabstimmung erscheint es zulässig, die einzelne Fertigungsline als einstufigen Fertigungsprozeß zu behandeln⁸. Damit wird von der Prämisse ausgegangen, daß die Stationenzahl, die Arbeitsgänge, der Leistungsgrad und gegebenenfalls die Zwischenpuffer einer Fertigungsline ohne Berücksichtigung der Losgrößen- und Gangfolgeprobleme für die auf ihr zu erzeugenden Produktarten festgelegt werden. Die Alternativen des Produktionsvollzugs bei Herstellung verschiedenartiger Sorten- oder Großserienprodukte auf einer oder mehreren jeweils zeitlich abgestimmten Fertigungslien lassen sich dann durch ein Produktionsmengenmodell abbilden. In ihm werden die Beschaffungs-, Einsatz- und Lagermengen der originären Einsatzgüter, die Ausbringungs-, Lager- und Absatzmengen der Endprodukte sowie die Losgrößen- und Reihenfolgealternativen erfaßt.

Der Präzisionsgrad dieses Produktionsmodells hängt davon ab, ob die Intervalldauern vorgegeben und wie groß die Intervallzahl im Betrachtungszeitraum gewählt werden. Einerseits bietet es sich besonders bei Vorliegen einer einzigen Fertigungsline an, die Intervalldauer als Variable zu behandeln, weil hierdurch die Anzahl ganzzahliger Modellvariablen vermindert werden kann⁹. Andererseits können bei Vorgabe einer großen Zahl von Intervallen mit konstanter Dauer die zeitlichen Verschiebungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung als ganzzahliges Vielfaches der Intervalldauer ausgedrückt werden. Ferner lassen sich bei vorgegebenen Intervalldauern prognostizierbare Nachfrageänderungen sowie vorgegebene Absatztermine leichter berücksichtigen. Zudem wird bei schwankenden Beschaffungs- und/oder Absatzgeschwindigkeiten die Entwicklung der Lagerbestände wenig präzise wiedergegeben, sofern einzelne Intervalle bei Herstellung großer Lose verhältnismäßig lange dauern. Um die Lagerbestandsveränderungen sowie die Auswirkungen von Fehl- und Verzugsmengen an Endprodukten exakt abzubilden, könnte das Produktionsmodell aber entsprechend einem Vorschlag von Dellmann¹⁰ verfeinert werden.

Die Entscheidung zwischen diesen Modellalternativen wird auch bestimmt von den Durchlaufzeiten der Produkte und den durchschnittlichen Losgrößen. Ferner ist zu beachten, daß die Rüstzeiten die Intervalldauern nicht überschreiten dürfen¹¹. Diese Anforderung läßt sich bei variablen Intervalldauern leichter erfüllen. Zur Kennzeichnung beider Modellalternativen wird das Produktionsmodell einerseits für eine Fertigungsline mit variablen Intervalldau-

⁸ Vgl. Heß-Kinzer/Doering [Kapazitätsplanung] 29. Behandelt man die Fertigungsline als eine „fiktive“ Produktiveinheit, so wird der Organisationstyp der Fertigung nicht mehr aus der Strukturmatrix ersichtlich.

⁹ Pressmar [Einsatzmöglichkeiten] 233 f.

¹⁰ Dellmann [Entscheidungsmodelle] 164 ff.

¹¹ Auf dieses Problem weist Adam hin. Adam [Ablaufplanung] 244.

ern und andererseits für einen aus mehreren Fertigungslinien gebildeten Produktionsprozeß mit konstanten Intervalldauern formuliert.

Bei Erzeugung mehrerer Sorten- oder Serienprodukte p (bzw. q) = 1, ..., P auf einer Fertigungslinie ergeben sich die (Brutto-)Herstellungsmengen p_p^t im Intervall t bei variablen Intervalldauern aus den Fertigungszeiten d_p^t und den Taktzeiten λ_p der Linie entsprechend Gleichung C.96:

$$p_p^t = \frac{d_p^t}{\lambda_p} \quad (C.96)$$

Die Beziehungen zwischen den Herstellungsmengen p_p^t und den Werten der Fertigungszeitvariablen d_p^t sind eineindeutig, weil die Intensitäten der Fertigungslinie über die Taktzeiten λ_p festgelegt sind und keine Alternativen der Arbeitsverteilung bestehen. Da bei zeitlich abgestimmter Fließfertigung offene Produktion vorliegt, erscheint es berechtigt, die zeitliche Verzögerung zwischen Fertigstellung der Produkte und ihrer Verfügbarkeit zum Absatz zu vernachlässigen¹². Wenn man bei jeder Produktart p konstante Absatzgeschwindigkeiten σ_p während des Betrachtungszeitraums unterstellen kann, mit l_p^t den Lagerendbestand von Produktart p in t und mit ψ_p die Ausschußkoeffizienten bezeichnet, lauten die Produktgleichungen:

$$\psi_p \cdot \frac{d_p^t}{\lambda_p} = \sigma_p \cdot d^t + l_p^t - l_p^{t-1} \quad \text{für alle } p, t \quad (C.97)$$

In den Gleichungen C.97 gibt d^t die Dauer des Intervales t an. Die Werte der in den Produktgleichungen enthaltenen Variablen werden entsprechend dem allgemeinen Produktionsmengenmodell¹³ durch die Nebenbedingungen C.98a bis g begrenzt:

$$d_p^t \leq z_p^t \cdot D \quad \text{für alle } p, t \quad (C.98a)$$

$$z_p^t \text{ ganzzahlig} \quad \text{für alle } p, t \quad (C.98b)$$

$$\sum_p z_p^t \leq 1 \quad \text{für alle } t \quad (C.98c)$$

$$u_{qp}^t \geq z_q^{t-1} + z_p^t - 1 \quad p, q = 1, \dots, P; \quad \text{für alle } t \quad (C.98d)$$

$$\sum_p (d_p^t + \sum_{q=1}^P h_{qp} \cdot u_{qp}^t) \leq d^t \quad \text{für alle } t \quad (C.98e)$$

¹² Insbesondere bei großen Losen und losgrößenabhängigen Intervalldauern erscheint der Ansatz einer Zeitverzögerung um ein Intervall zwischen Fertigstellung und Verfügbarkeit zum Absatz wenig präzise.

¹³ Vgl. die Gleichungen C.72b bis h auf Seite 166.

$$\sum_t d^t \leq D \quad (\text{C.98f})$$

$$d_p^t, z_p^t, l_p^t, u_{qp}^t \geq 0 \quad p, q = 1, \dots, P; \quad (\text{C.98g})$$

für alle t

Wie in den bisherigen Modellen bezeichnen in C.98 z_p^t die Zuordnungsvariablen, u_{qp}^t die reihenfolgeabhängigen Umrüstvariablen, h_{qp} die reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und D die Dauer des Betrachtungszeitraums.

Die Einsatzgütermengen können in Abhängigkeit von den Herstellungsmengen p_p^t ermittelt werden. Für die Zeitpunkte des Gütereinsatzes sind die Stationenzahl der Fertigungslinie und die Taktzeiten λ_p maßgebend. Die zeitliche Verschiebung zwischen originärem Gütereinsatz und Fertigstellung der Produkte entspricht bei den Rohstoffen der Durchlaufzeit eines Produkts, die sich durch Multiplikation der Taktzeit λ_p mit der Stationenzahl bestimmen lässt. Bei variablen Intervalldauern und verhältnismäßig großen Losen wäre es äußerst ungenau, in den Lagergleichungen der Roh- und Betriebsstoffe ein ganzzahliges Vielfaches der Intervalldauer als zeitliche Verschiebung zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung anzusetzen. Vereinfachend werden daher die Zeitpunkte von Einsatz und Ausbringung demselben Intervall zugeordnet. Die Verweilzeit der Produktionskoeffizienten α_{rp}^0 des Rohstoffeinsatzes beträgt somit Null. Die Beschaffungsmenge des r-ten Rohstoffes im Intervall t wird durch e_r^t , sein Lagerendbestand durch l_r^t und seine Absatzgeschwindigkeit durch σ_r wiedergegeben. Unter Verwendung der in Abschnitt C.II.2.a¹⁴ entwickelten Einsatzfunktionen erhält man dann für jeden Rohstoff Gleichungen der Art C.99:

$$e_r^t = \sum_p \alpha_{rp}^0 \cdot p_p^t + \sigma_r \cdot d^t + l_r^t - l_r^{t-1} \quad \text{für alle } r, t \quad (\text{C.99})$$

Konvergierende Objektflüsse durch eine Vereinigung mehrerer Rohstoffarten kommen darin zum Ausdruck, daß die Produktionskoeffizienten α_{rp}^0 bei derselben Produktart p für verschiedene Rohstoffarten r größer als Null sind. Im Fall einer Fließfertigung ohne Zeitzwang wird ferner vereinfachend unterstellt, daß Zwischenpuffer zu Beginn der Fertigung eines Loses aufgefüllt und vor der Umrüstung auf die nächste Produktart zu Endprodukten weiterverarbeitet werden.

Bei der Abbildung des Betriebsstoffverbrauchs kann berücksichtigt werden, daß die Dauer λ_{pm} eines Arbeitsgangs der m-ten Station für die Bearbeitung der p-ten Produktart bei mehreren der Stationen $m = 1, \dots, M$ der Fertigungslinie kürzer als die Taktzeiten λ_p sein können. Mit β_{bm} und γ_{bm} werden die Verbrauchskoeffizienten des b-ten Betriebsstoffes an der m-ten Station der Fertigungslinie innerhalb von Bearbeitungs- bzw. Rüstzeiten bezeichnet. Dagegen

¹⁴ Vgl. Seite 167 ff.

erfassen e_b^t bzw. l_b^t die Beschaffungsmengen bzw. Lagerendbestände dieses Betriebsstoffes, während durch die Absatzgeschwindigkeit σ_b die Möglichkeit seines Absatzes berücksichtigt wird. Die Fertigungszeit jeder Station in einem Intervall erhält man durch Multiplikation der Herstellungsmenge p_p^t mit ihrer Gangzeit λ_{pm} . Unter Verwendung dieser Beziehung lassen sich für alle Betriebsstoffe die Gleichungen C.100 aufstellen:

$$e_b^t = \sum_m \beta_{bm} \cdot \sum_p \lambda_{pm} \cdot p_p^t + \sum_m \gamma_{bm} \cdot \sum_{q,p} h_{qpm} \cdot u_{qp}^t + \sigma_b \cdot d^t + l_b^t - l_b^{t-1} \quad \text{für alle } b,t \quad (\text{C.100})$$

Für jede Station bzw. Produktiveinheit m der Fertigungsline lässt sich die Einsatzzeit r_m^t im Intervall mit Hilfe der Gleichungen C.101 bestimmen, in denen h_{qpm} die individuelle Rüstzeit der jeweiligen Station angibt:

$$r_m^t = \sum_p \lambda_{pm} \cdot p_p^t + \sum_{q,p} h_{qpm} \cdot u_{qp}^t \quad \text{für alle } m,t \quad (\text{C.101})$$

Man kann davon ausgehen, daß jede Arbeitskraft a in genau einer Station m_a der Fertigungsline eingesetzt ist. Sofern ihre Bedienungszeit während der Bearbeitung von Produkten entsprechend dem Koeffizienten ϵ_{pm_a} proportional zur Gangzeit λ_{pm_a} ist und die Verteil- bzw. Erholungszeiten gemäß den Koeffizienten μ bzw. η proportional zur Taktzeit der Linie festgelegt werden, beträgt die Einsatzzeit r_a^t der Arbeitskraft a in t:

$$r_a^t = \sum_{q,p} h_{qpm_a} \cdot u_{qp}^t + \sum_p \epsilon_{pm_a} \cdot \lambda_{pm_a} \cdot p_p^t + \sum_p \mu \cdot d^t + \sum_p \eta \cdot d^t \quad \text{für alle } a,t \quad (\text{C.102})$$

Eine Zielfunktion der Deckungsbeitragsmaximierung kann entsprechend dem Ansatz in Abschnitt C.II.2.d¹⁵ formuliert werden. Im Fall einer Fließfertigung ohne Zeitzwang sind dabei zusätzlich die Kosten der Zwischenpuffer je Produktart zu berücksichtigen.

Durch die Behandlung der Fertigungsline als einstufigen Fertigungsprozeß weist dieses Produktionsmodell eine verhältnismäßig einfache Struktur auf. Die Zahl seiner Variablen und Nebenbedingungen gibt die zusammenfassende Übersicht von Abbildung 29 auf Seite 202 wieder. Nach Festlegung der Arbeitsgänge sowie der Gang- und Taktzeiten je Produktart und Station bestehen zwischen Gütereinsatz- und -ausbringungsmengen sowie zwischen den Gütereinsatz- und -ausbringungszeitpunkten eineindeutige Beziehungen. Schwankungen im Leistungsgrad oder Störungen können durch den Ansatz erwarteter Durchschnittswerte der Gang- und Taktzeiten berücksichtigt werden.

¹⁵ Vgl. Seite 184 ff.

In einem zweiten Produktionsmodell der Fließfertigung mit hohem Grad an Leistungsabstimmung wird davon ausgegangen, daß die verschiedenen Sorten- oder Großserienprodukte p bzw. $q = 1, \dots, P$ auf *mehreren*, jeweils zeitlich abgestimmten Fertigungslien bzw. -straßen hergestellt werden. Die Fertigungsstraßen $s = 1, \dots, S$ weisen unterschiedliche technische Eigenschaften auf. Dennoch kann es möglich sein, dieselbe Produktart p auf mehreren Straßen zu erzeugen. Dann gehört die *Arbeitsverteilung* zu den Strukturierungstatbeständen des Produktionsvollzugs¹⁶. Für jede Fertigungsstraße s und jede ihrer Stationen sm sind die Taktzeiten λ_{ps} sowie die Gangzeiten λ_{psm} der Produkte p , die auf ihr gefertigt werden können, als endliche Werte gegeben¹⁷. Wenn der Betrachtungszeitraum in die Intervalle $t = 1, \dots, T$ mit konstanter Dauer unterteilt wird, kann die Fertigungszeit d_{ps}^t der p -ten Produktart auf der s -ten Straße im Intervall t mit Hilfe der Zuordnungsvariablen z_{ps}^t , der Umrüstvariablen u_{qps}^t , der Rüstzeiten h_{qps} und der Leerzeitvariablen v_{ps}^t durch Gleichung C.103 ermittelt werden¹⁸:

$$d_{ps}^t = (z_{ps}^t - \sum_{q=1}^P \frac{h_{qps}}{\bar{d}^t} \cdot u_{qps}^t - v_{ps}^t) \cdot \bar{d}^t \quad \text{für alle } p, s, t \quad (\text{C.103})$$

Die gesamte Herstellungsmenge p_p^t der p -ten Produktart einschließlich Ausschußprodukten, die auf einer oder mehreren Fertigungsstraßen im Intervall t gefertigt wird, beträgt:

$$p_p^t = \sum_s \frac{d_{ps}^t}{\lambda_{ps}} = \sum_s (z_{ps}^t - \sum_q \frac{h_{qps}}{\bar{d}^t} \cdot u_{qps}^t - v_{ps}^t) \cdot \frac{\bar{d}^t}{\lambda_{ps}}$$

Werden von der Endproduktart p im Intervall t x_p^t Einheiten abgesetzt, so erhält man unter Beachtung der Ausschußkoeffizienten ψ_{ps} die Produktgleichungen C.104:

$$\sum_s \psi_{ps} \cdot (z_{ps}^t - \sum_q \frac{h_{qps}}{\bar{d}^t} \cdot u_{qps}^t - v_{ps}^t) \cdot \frac{\bar{d}^t}{\lambda_{ps}} = x_p^t + l_p^t - l_p^{t-1}$$

für alle $p, t \quad (\text{C.104})$

Entsprechend dem allgemeinen Produktionsmengenmodell bei konstanten Intervalldauern C.73¹⁹ werden die Variablenwerte der Produktgleichungen C.104 durch die Nebenbedingungen C.105a bis e begrenzt:

¹⁶ Bei großem Bedarf einer Endproduktart kann dabei eine Straße ständig dieselbe Produktart fertigen. Vgl. hierzu Hoitsch [Seriengrößenmodelle] 52 ff.

¹⁷ Zur numerischen Lösung kann λ_{ps} für die Produktarten p , die auf der Straße s nicht herstellbar sind, mit einem sehr großen endlichen Wert angesetzt werden.

¹⁸ Vgl. Gleichung C.49 auf Seite 158.

¹⁹ Vgl. Seite 166.

V a r i a b l e n	F l i e ß f e r t i g u n g	G e r i n g e r G r o d o n L e i s t u n g s - a b s t i m m u n g	W e r k s t o t t f e r t i g u n g	W e r k s t o t t f l i e ß - f e r t i g u n g
Z u r d n u n g s v o r i a b l e n d e r F e r t i g u n g	P · T	P · S · T	P · M · T	$\sum_w (M_w \cdot P_w) \cdot \Delta \cdot T^2$
F e r t i g u n g s z e i t v o r i a b l e n	P · T	-	P · M · T	-
U m r ü s t v o r i a b l e n	P · (P-1) · T	P · (P-1) · S · T	P · (P-1) · M · T	$\sum_w (M_w \cdot P_w) \cdot \Delta \cdot T$
L e e r z e i t v o r i a b l e n	-	P · S · T	-	$\sum_w (M_w \cdot P_w) \cdot \Delta \cdot T$
Z u r d n u n g s v o r i a b l e n d e s T r a n s p o r t s	-	-	-	N · W · (W-1) · T
T r a n s p o r t m e n g e n v o r i a b l e n	-	-	-	N · W · (W-1) · $\sum_w P_w \cdot T$
A b s o l t v o r i a b l e n v o n - P r o d u k t e n	-	P · T	P · M · T	$\sum_w P_w \cdot T$
- R o h s t o f f e n	-	R · T	R · T	R · T
- B e t r i e b s s t o f f e n	-	B · T	B · T	B · T
L a g e r b e s t a n d s v o r i a b l e n v o n - P r o d u k t e n	P · (T-1)	P · (T-1)	P · M · (T-1)	$\sum_w P_w \cdot T$
- L a g e r u n g v o r T r a n s p o r t	-	-	-	(W-1) · $\sum_w P_w \cdot T$
- L a g e r u n g n a c h T r a n s p o r t	-	-	-	H · (W-1) · T
- R o h s t o f f e n	R · (T-1)	R · (T-1)	R · (T-1)	R · T
- B e t r i e b s s t o f f e n	B · (T-1)	B · (T-1)	B · (T-1)	B · (T-1)
I n t e r v o l l d a u e r v o r i a b l e n	T	-	T	-
B e s c h a f f u n g s v o r i a b l e n v o n - R o h s t o f f e n	R · T	R · T	R · T	R · T
- B e t r i e b s s t o f f e n	B · T	B · T	B · T	B · T
E i n s o t z z e i t v o r i a b l e n v o n - m o s c h i n e l l e n A n l a g e n	M · T	$\sum_s M_s \cdot T$ ¹⁾	M · T	$\sum_w M_w \cdot T$
- T r a n s p o r t m i t t e l n	-	-	-	N · T
- m e n s c h l i c h e n A r b e i t s k r ä f t e n	A · T	A · T	A · T	$\sum_w A_w \cdot T + N \cdot T$ ³⁾
N e b e n b e - d i n g u n g e n				
G u t e r g l i c h u n g e n d e r - P r o d u k t e				
- L a g e r u n g v o r T r a n s p o r t	P · T	P · T	P · M · T	$\sum_w P_w \cdot (T+1)$
- L a g e r u n g n a c h T r a n s p o r t	-	-	-	(W-1) · $\sum_w P_w \cdot (T+1)$
- R o h s t o f f e	R · T	R · T	R · T	R · (T+1)
- B e t r i e b s s t o f f e	B · T	B · T	B · T	B · T
B e z i e h u n g e n z w i s c h e n F e r t i g u n g s z e i t - u n d Z u r d n u n g s v o r i a b l e n	P · T	-	P · M · T	-
M o s c h i n e n b e l e g u n g s - b e d i n g u n g e n	T	S · T	M · T	$\sum_w M_w \cdot T$
U m r ü s t b e d i n g u n g e n	P · (P-1) · T	P · (P-1) · S · T	P · (P-1) · M · T	$\sum_w (M_w \cdot P_w) \cdot \Delta \cdot T$
K o p o z i t i ö t s b e d i n g u n g e n	T	-	P · M · T	H · (H-1) · $\sum_w M_w \cdot \Delta \cdot T$
L e e r z e i t b e d i n g u n g e n	-	P · S · T	-	-
I n t e r v o l l z e i t b e d i n g u n g e n	1	-	1	-
B e l e g u n g s b e d i n g u n g e n d e r T r a n s p o r t m i t t e l	-	-	-	N · T
V e r f ü g b o r k e i t s b e d i n g u n g e n d e r T r a n s p o r t m i t t e l	-	-	-	N · W · (W-1) · T
T r a n s p o r t k o p o z i t i ö t s - b e d i n g u n g e n	-	-	-	$\sum_w N_w \cdot T$

1) M_s = Z o h l d e r A n l a g e n v o n S t r o ß e s 2) P_w = Z o h l d e r i n W e r k s t o t t w g e f e r t i g t e n
P r o d u k t e 3) A_w = Z o h l d e r i n W e r k s t o t t w t ä t i g e n A r b e i t s k r ä f t e 4) G_h = Z o h l d e r
A r b e i t s g ä n g e b e i P r o d u k t t y p h

Abb. 29: Überblick über Zahl der Variablen und Nebenbedingungen der Produktionsmodelle

$$z_{ps}^t \text{ ganzzahlig} \quad \text{für alle } p, s, t \quad (\text{C.105a})$$

$$\sum_p z_{ps}^t \leq 1 \quad \text{für alle } s, t \quad (\text{C.105b})$$

$$u_{qps}^t \geq z_{qs}^{t-1} + z_{ps}^t - 1 \quad \begin{matrix} q, p=1, \dots, P; \\ \text{für alle } s, t \end{matrix} \quad (\text{C.105c})$$

$$v_{ps}^t \leq z_{ps}^t - \sum_q \frac{h_{qps}}{\bar{d}^t} \cdot u_{qps}^t \quad \text{für alle } p, s, t \quad (\text{C.105d})$$

$$z_{ps}^t, l_p^t, x_p^t, u_{qps}^t, v_{ps}^t \geq 0 \quad \begin{matrix} q, p=1, \dots, P; \\ \text{für alle } s, t \end{matrix} \quad (\text{C.105e})$$

Sofern die Durchlaufzeit der Produkte auf jeder Fertigungsstraße die vorgegebenen Intervalldauern \bar{d}^t (deutlich) übersteigt, kann sie als ganzzahliges Vielfaches der Intervalldauern approximativ in den Einsatzgleichungen der Rohstoffe berücksichtigt werden. Beträgt die Durchlaufzeit der Produktart p auf der s -ten Fertigungsstraße annähernd Θ_{ps} Intervalle, so müssen die Rohstoffe Θ_{ps} Intervalle vor Fertigstellung der Produkte eingesetzt werden. Dann erhält man für jeden Rohstoff r Gleichungen der Art C.106:

$$e_r^t = \sum_p \alpha_{rp}^s \cdot (z_{ps}^{t+\theta_{ps}} - \sum_q \frac{h_{qps}}{\bar{d}^t} u_{qps}^{t+\theta_{ps}} - v_{ps}^{t+\theta_{ps}}) \cdot \frac{\bar{d}^t}{\lambda_{ps}} + x_r^t + l_r^t - l_r^{t-1} \quad \text{für alle } r, t \quad 20) \quad (\text{C.106})$$

Der entsprechende Ansatz einer zeitlichen Verzögerung erscheint beim Betriebsstoffverbrauch nur angebracht, wenn die Durchlaufzeiten im Verhältnis zu den Intervalldauern recht groß sind. Dann könnte für jede Produktiveinheit einer Straße eine individuelle Zeitverzögerung für die restliche Durchlaufzeit von dieser Station bis zur Fertigstellung der Produkte eingesetzt werden. Näherungsweise kann man auch annehmen, daß die Betriebsstoffe im Schnitt eine halbe Durchlaufzeit ($1/2 \Theta_{ps}$) vor Fertigstellung der Endprodukte bereitzustellen sind. Dabei muß Θ_{ps} ein gerades Vielfaches der Intervalldauern betragen. In diesem Fall ergeben sich für jeden Betriebsstoff b Gleichungen der Art C.107:

$$e_b^t = \sum_{s,m} \beta_{bsm} \cdot \sum_p (z_{ps}^{t+\theta_{ps}/2} - \sum_q \frac{h_{qps}}{\bar{d}^t} u_{qps}^{t+\theta_{ps}/2} - v_{ps}^{t+\theta_{ps}/2}) \cdot \frac{\lambda_{psm}}{\lambda_{ps}} \bar{d}^t + \sum_{s,m} \gamma_{bsm} \cdot \sum_{\sigma,p} h_{qpsm} \cdot u_{qps}^{t+\theta_{ps}/2} + x_b^t + l_b^t - l_b^{t-1} \quad \text{für alle } b, t \quad (\text{C.107})$$

²⁰ Die Rohstoffe, die zur Fertigung von Endprodukten in den ersten Θ_{ps} Intervallen eingesetzt sind, müssen gesondert erfaßt werden.

Dabei bezeichnet h_{qpsm} die individuelle Rüstzeit der m-ten Station von Fertigungsstraße s. Die Einsatzzeit r_{sm}^t dieser Station sm im Intervall t wird in Gleichung C.108 ermittelt:

$$r_{sm}^t = \sum_p (z_{ps}^t - \sum_q \frac{h_{qps}}{\bar{d}^t} \cdot u_{qps}^t - v_{ps}^t) \cdot \frac{\lambda_{psm} \cdot \bar{d}^t}{\lambda_{sm}} + \sum_{q,p} h_{qpsm} u_{qps}^t$$

für alle s, m, t (C.108)

Maßgebend für die Kapazitätsausnutzung ist vor allem das Verhältnis zwischen den Gangzeiten λ_{psm} der Stationen und den Taktzeiten λ_{ps} . Man kann ebenfalls unterstellen, daß jede Arbeitskraft a lediglich in einer Station sm_a eingesetzt ist. Dann kann die Einsatzzeit r_a^t jeder Arbeitskraft a im Intervall t entsprechend Gleichung C.109 bestimmt werden:

$$r_a^t = \sum_{q,p} h_{qpsm_a} \cdot u_{qps}^t + \sum_p \lambda_{psm_a} \cdot (z_{ps}^t - \sum_q \frac{h_{qps}}{\bar{d}^t} \cdot u_{qps}^t - v_{ps}^t) \cdot \frac{\lambda_{psm_a} \cdot \bar{d}^t}{\lambda_{ps}}$$

$$+ \sum_p (\mu + n) \cdot (z_{ps}^t - \sum_q \frac{h_{qps}}{\bar{d}^t} \cdot u_{qps}^t - v_{ps}^t) \cdot \bar{d}^t$$

für alle a, t (C.109)

Die zeitliche Differenz zwischen den Fertigstellungszeitpunkten der Endprodukte und den tatsächlichen Einsatzzeitpunkten der Stationen sowie der in ihnen tätigen Arbeitskräfte kann außerhalb des Modells durch eine entsprechende Vorverlagerung der Arbeitseinsatzzeitpunkte berücksichtigt werden.

Dieses zweite Produktionsmodell einer Fließfertigung mit hohem Grad an Leistungsabstimmung enthält zeitlich bestimmte Beschaffungsvariablen e_i^t bzw. e_b^t für Roh- bzw. Betriebsstoffe sowie zeitlich bestimmte Absatzvariablen x_p^t , x_r^t und x_b^t für Endprodukte, Roh- und Betriebsstoffe. Aufgrund der vorgegebenen Intervalleinteilung können Hypothesen über die Beschaffungs- und Absatzmöglichkeiten in den einzelnen Intervallen des Betrachtungszeitraums durch zusätzliche Nebenbedingungen abgebildet werden. Ferner können in zusätzlichen Absatzbedingungen Verzugs- und Fehlmengen mit ihren Auswirkungen auf die Absatzentwicklung berücksichtigt werden. Wenn sich die Beschaffungs- und Absatzmöglichkeiten verändern, wird der optimale Produktionsvollzug in der Regel keine sich zyklisch wiederholenden Losgrößen und Gangfolgen enthalten, wie sie bei stationären Daten häufig auftreten²¹. Durch eine Erweiterung des Modells um Hypothesen über die zeitliche Verteilung der Beschaffungsmöglichkeiten und die Nachfrage werden auch Interdependenzen zwischen der zeitlichen Struktur von Beschaffung, Fertigung, Lagerung und Absatz erfaßt.

²¹ Vgl. die von Adam und Dellmann für stationäre Daten berechneten Beispiele einstufiger Fertigungsprozesse. Adam [Produktionsplanung] 94 ff.; Dellmann [Modell] 153 ff.; Dellmann [Entscheidungsmodelle] 184 ff.

Da im zweiten Produktionsmodell bei zeitlich abgestimmter Fließfertigung verschiedene Alternativen der Arbeitsverteilung bestehen, sind die Beziehungen zwischen den Gütereinsatz- und -ausbringungsmengen sowie deren zeitlicher Verteilung vieldeutig. Die größere Zahl von Handlungsalternativen führt ferner zu einer Steigerung der Anzahl an Modellvariablen und Nebenbedingungen. Dies wird aus der Übersicht von Abbildung 29 auf Seite 202 ersichtlich.

c) *Struktur der produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen bei Fließfertigung mit geringem Grad an Leistungsabstimmung*

Bei der Herstellung verschiedenartiger Sorten- oder Serienprodukte auf einer Fertigungslinie lässt sich in zahlreichen Fällen kein hoher Grad an Leistungsabstimmung erreichen. Deutliche Unterschiede in den Arbeitsgangdauern bzw. Gangzeiten eines Stückprozesses können insbesondere aus dessen begrenzter Zerlegbarkeit in Vorgangselemente folgen¹. Ferner beanspruchen verschiedenartige Produkte die Produktiveinheiten einer Fertigungslinie häufig in unterschiedlichem Maße, so daß eine hohe Leistungsabstimmung der Linie für die verschiedenen Stückprozesse nicht durchführbar oder zu aufwendig ist². Dennoch kann eine Anordnung der Produktiveinheiten nach dem Objektprinzip bei (weitgehend³) übereinstimmenden Operationenfolgen zweckmäßig sein.

Unterschiedliche Gangzeiten und Produktionsgeschwindigkeiten innerhalb eines Stückprozesses führen zur Lagerbildung zwischen den Stationen bzw. Produktiveinheiten einer Fertigungslinie sowie zu Leerzeiten. Strebt man eine homomorphe Abbildung des Produktionsprozesses an, so kann die Fertigungslinie in diesem Fall nicht als eine Fertigungsstufe behandelt werden. Vielmehr sind die einzelnen Produktiveinheiten der Fertigungslinie, die von ihnen erzeugten Zwischen- oder Endproduktarten sowie deren Lagerbestandsentwicklungen gesondert zu erfassen. Damit erhöhen sich die Komplexität des Produktionsmodells und der Input-Output-Beziehungen deutlich.

Da alle Stückprozesse die (annähernd) gleiche Reihenfolge der Operationen und der Produktiveinheiten aufweisen, vereinfacht sich die Struktur des Produktionsmodells dennoch gegenüber dem in Abschnitt C.II.1 entwickelten allgemeinen Ansatz. Sofern der Produktionsprozeß lediglich eine Fertigungslinie umfaßt, kennzeichnet der Index m ihrer Produktiveinheiten bei jeder Sorten- oder Serienproduktart p zugleich die Fertigungsstufe. In dem bei Fließfertigung häufig vorliegenden Fall glatter Stückprozesse erhält man bei offener Produktion, variablen Intervalldauern d^i , vorgegebenen Intensitätsgraden bzw.

¹ Mellerowicz [Industrie] 346 f.

² Vgl. auch Adam [Produktionsplanung] 100.

³ Vgl. auch Todt [Fertigung] 416 f.

Produktionsgeschwindigkeiten ρ_{pm} und Berücksichtigung von Ausschüßkoeffizienten Ψ_{pm} für die p-te Endproduktart nach ihrer Bearbeitung durch die m-te Produktiveinheit Produktgleichungen der Art C.110:

$$\psi_{pm} \cdot \rho_{pm} \cdot d_{pm}^t = \alpha_{pm, m+1}^0 \cdot \rho_{p, m+1} \cdot d_{p, m+1}^t + x_{pm}^t + l_{pm}^t - l_{pm}^{t-1} \quad (\text{C.110})$$

für alle p, m, t

Dabei bezeichnen $\alpha_{pm, m+1}^0$ die Produktionskoeffizienten des Zwischenprodukteinsatzes, die bei glatten Stückprozessen häufig gleich Eins sind. Charakteristisch für diese Produktgleichungen ist, daß sich die Matrix der Produktionsgeschwindigkeiten F_{PD} aus Diagonalmatrizen zusammensetzt, weil die Arbeitseinsatzmatrix bei Fließfertigung für jeden Stückprozeß eine Einheitsmatrix enthält. Wegen des glatten Objektflusses wird jede Zwischenproduktart pm in der nächsten Produktiveinheit m + 1 wiedereingesetzt. Entsprechend dem allgemeinen Produktionsmengenmodell C.72 gelten für die Variablen von C.110 die Nebenbedingungen C.111a bis g:

$$d_{pm}^t \leq z_{pm}^t \cdot D \quad \text{für alle } p, m, t \quad (\text{C.111a})$$

$$z_{pm}^t \text{ ganzzahlig} \quad \text{für alle } p, m, t \quad (\text{C.111b})$$

$$\sum_p z_{pm}^t \leq 1 \quad \text{für alle } m, t \quad (\text{C.111c})$$

$$u_{qpm}^t \geq z_{qm}^{t-1} + z_{pm}^t - 1 \quad \begin{matrix} q, p=1, \dots, P; \\ \text{für alle } m, t \end{matrix} \quad (\text{C.111d})$$

$$\sum_p d_{pm}^t + \sum_{q, p} h_{qpm} \cdot u_{qpm}^t \leq d^t \quad \text{für alle } p, m, t \quad (\text{C.111e})$$

$$\sum_t d^t \leq D \quad (\text{C.111f})$$

$$d_{pm}^t, z_{pm}^t, l_{pm}^t, x_{pm}^t, u_{qpm}^t \geq 0 \quad \begin{matrix} q, p=1, \dots, P; \\ \text{für alle } m, t \end{matrix} \quad (\text{C.111g})$$

Die Fertigungszeitvariablen d_{pm}^t , die Zuordnungsvariablen z_{pm}^t , die Absatzvariablen x_{pm}^t , die Lagerbestandsvariablen l_{pm}^t , die Umrüstvariablen u_{qpm}^t sowie die Rüstzeiten h_{qpm} sind dabei für jede Fertigungsstufe m eines jeden Sorten- oder Serienprodukts p definiert.

Bei glatten Stückprozessen wird jedes Sorten- oder Serienprodukt aus einem Rohstoff erzeugt. Daher sind für die Zeitpunkte des Rohstoffeinsatzes lediglich die Fertigungsprozesse der ersten Fertigungsstufe m = 1 maßgebend. Vernachlässigt man wegen der variablen Intervalldauern die Zeitdifferenz zwischen Einsatz und Ausbringung auf der ersten Stufe und gelten für den Rohstoffeinsatz die Produktionskoeffizienten α_r^0 , so ergeben sich für die Rohstoffe r Gleichungen der Art C.112a:

$$e_r^t = \sum_p \alpha_{rp}^o \cdot p_1 \cdot d_{p1}^t + x_r^t + l_r^t - l_r^{t-1} \quad \text{für alle } r, t \quad (\text{C.112a})$$

Die Gleichungen der Betriebsstoffe sowie die Einsatzfunktionen für maschinelle und menschliche Arbeit können entsprechend den Gleichungen C.81, C.74 und C.75 des allgemeinen Ansatzes entwickelt werden⁴. Dabei wird angenommen, daß jede Arbeitskraft a nur in einer Produktiveinheit m_a der Fertigungsline eingesetzt ist.

$$e_b^t = \sum_{m,p} \beta_{bm} \cdot d_{pm}^t + \sum_{m,q,p} \gamma_{bm} h_{qpm} u_{qpm}^t + x_b^t + l_b^t - l_b^{t-1} \quad \text{für alle } b, t \quad (\text{C.113})$$

$$r_m^t = \sum_p d_{pm}^t + \sum_{q,p} h_{qpm} u_{qpm}^t \quad \text{für alle } m, t \quad (\text{C.114})$$

$$r_a^t = \sum_{q,p} h_{qpm} u_{qpm}^t + \sum_p e_{pm} \cdot d_{pm}^t + \sum_p u_{ma} d_{pm}^t + \sum_p n_{ma} \cdot d_{pm}^t \quad \text{für alle } a, t \quad (\text{C.115})$$

Der Vollzug des Produktionsprozesses hängt bei geringer Leistungsabstimmung der Produktiveinheiten von mehr Bestimmungsgrößen als bei zeitlich abgestimmter Fließfertigung ab. Seine höhere Komplexität kommt auch in der Struktur des Produktionsmodells zum Ausdruck. Die Zahl der Variablen und Nebenbedingungen dieses Modells nimmt entsprechend der Übersicht in Abbildung 29 auf Seite 202 durch die Berücksichtigung der einzelnen Produktiveinheiten deutlich zu. Darüber hinaus erfordert eine präzise Abbildung des Produktionsprozesses im Zeitablauf eine hohe Intervallzahl T. Durch die mangelnde Leistungsabstimmung treten die Sorten- oder Serienwechsel auf den Fertigungsstufen zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf. Der Produktionsprozeß vollzieht sich lediglich innerhalb kürzerer Intervalle stationär.

Die Struktur des Produktionsmodells der zeitlich nicht abgestimmten Fließfertigung wird wesentlich von der Annahme *offener Produktion* bestimmt. Sofern die Art der Produktweitergabe nicht durch Konstruktionsbedingungen⁵ fest vorgeschrieben ist, bietet sich aus mehreren Gründen eine stückweise Weitergabe der bearbeiteten Produkte auch bei zeitlich nicht abgestimmter Fließfertigung an. Durch die räumliche Anordnung der Produktiveinheiten nach der Operationenfolge sind die Transportwege verhältnismäßig kurz. Insbesondere bei großen Fertigungslosen hat eine losweise Weitergabe häufig eine deutliche Erhöhung der Durchlaufzeiten je Produkteinheit zur Folge⁶. Zudem lassen sich vielfach auch bei nicht-taktierter Fließfertigung Fördermittel wie Rollenbah-

⁴ Vgl. Seite 170 ff.

⁵ Adam [Produktionsplanung] 98.

⁶ Hierauf weist besonders Egger hin. Egger [Fertigungsplanung] 116 f.

nen, Rutschen o. ä. zur stückweisen Produktweitergabe einrichten⁷. Wenn die Kosten des Transports von Einzelprodukten nicht sehr hoch sind, wird man daher die Produkte bei zeitlich nicht abgestimmter Fertigung um so eher stückweise zum nächsten Arbeitsgang weitergeben, je mehr die Operationenfolgen der verschiedenenartigen Sorten- oder Serienprodukte übereinstimmen und je größer die Fertigungslose sind⁸. Bei gewissen Abweichungen in den Operationenfolgen wird man zu einer Weitergabe in Teillosen übergehen, die jedoch eine deutlich geringere Stückzahl als die Fertigungslose umfassen⁹. Aufgrund dieser Hypothesen erscheint der Anwendungsbereich von Modellen begrenzt, die bei zeitlich nicht abgestimmter Fließfertigung von geschlossener Produktion ausgehen.

Die Art der Produktweitergabe hat einen großen Einfluß auf die zeitliche Struktur des Produktionsprozesses. Durch eine stückweise Weitergabe kann nicht nur die Durchlaufzeit je Produkteinheit stark verringert werden¹⁰. Auch die Festlegung der Gangfolgen hängt von der Art der Produktweitergabe ab. Bei identischer Maschinenfolge erweisen sich (unter Vernachlässigung der Rüstzeiten) übereinstimmende Gangfolgen bei zweistufiger Fertigung sowie unter bestimmten Bedingungen bei dreistufiger Fertigung schon im Fall losweiser Produktweitergabe im Hinblick auf mehrere Ziele der Ablaufplanung als optimal¹¹. Sie führen bei mehr als drei Fertigungsstufen in der Regel zu einer guten Näherungslösung¹². Werden die Produkte dagegen stückweise oder in Teillosen weitergegeben, so bewirkt ein Wechsel der Gang- oder Auftragsfolgen fast immer eine Erhöhung der Durchlaufzeiten und der Leerzeiten. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 30 für ein von *Seelbach* und Mitarbeitern¹³ übernommenes Beispiel dargestellt.

Demnach gilt in der Regel für die auf einer Fertigungsline in offener Produktion hergestellten Produkte und Aufträge in allen Produktiveinheiten dieselbe Reihenfolge. Einen Wechsel der Gang- oder Auftragsfolge wird man höchstens bei Planrevisionen vornehmen, um neu eingetretene Lieferterminbedingungen zu erfüllen. Die Losgrößen haben bei offener Produktion einen geringeren Einfluß auf die Durchlaufzeiten je Produkteinheit als bei geschlossener Produktion, weil die zu einem Los gehörenden Produkte nicht jeweils bis zur Fertigung

⁷ Vgl. REFA [Arbeitsstudium 3] 181 und 217 ff.; Günther [Transportwesen] 177 ff.

⁸ Gleicher Ansicht ist Günther [Transportwesen] 181.

⁹ Diese Aussage ist mit den Typenkennzeichnungen von Schäfer und Mellerowicz vereinbar. Vgl. Schäfer [Industriebetrieb 1] 190 ff.; Mellerowicz [Industrie] 350.

¹⁰ Pfaffenberger [Produktionsplanung] 111.

¹¹ Johnson [Production Schedules] 61 ff.; Mitten [Sequencing] 293 ff.; Szwarc [Sequencing Problems] 129 ff.

¹² Heller [Experiments] 178 ff., insbes. 184; Conway/Maxwell/Miller [Scheduling] 100 ff.

¹³ Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 102 ff. Zur Vereinfachung werden Rüstzeiten und bei offener Produktion die geringen Zeitverschiebungen durch die Stückzeiten der jeweils ersten Arbeitsgänge vernachlässigt.

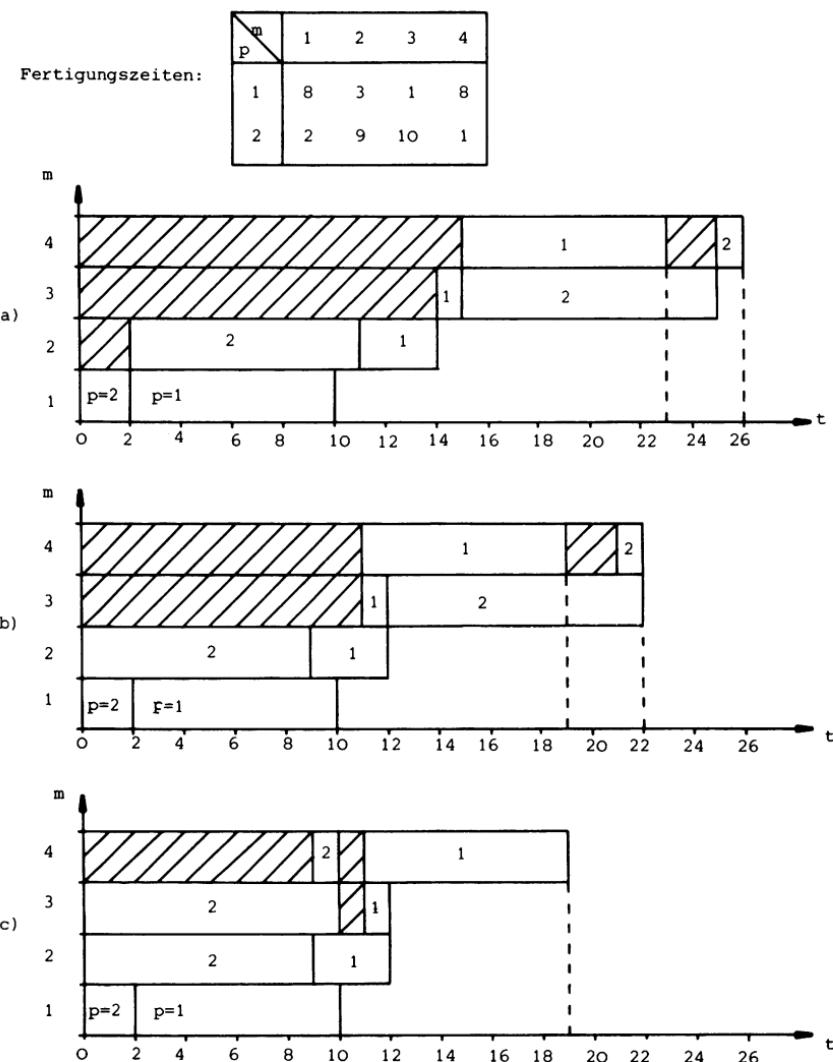


Abb. 30: Beispiele für vierstufigen Fertigungsprozeß bei Fließfertigung mit a) geschlossener Produktion und Wechsel der Auftragsfolge, b) offener Produktion und Wechsel der Auftragsfolge sowie c) offener Produktion und gleichbleibender Auftragsfolge

stellung des letzten Produkts auf den nächsten Arbeitsgang warten müssen. Ferner kann man davon ausgehen, daß eine Weitergabe von Teillosen oder Einzelprodukten bei identischen Operationenfolgen die Leerzeiten der Produktiveinheiten gegenüber einer Weitergabe der gesamten Fertigungslose deutlich vermindert.

Bei zeitlich nicht abgestimmter Fließfertigung bilden die Relationen zwischen den Produktionsgeschwindigkeiten innerhalb eines Stückprozesses sowie zwischen verschiedenen Stückprozessen eine wichtige Bestimmungsgröße des Produktionsprozesses. In ihnen kommt der Grad an Leistungsabstimmung zum Ausdruck. Neben den Losgrößen und den Gangfolgen sind sie maßgebend für die Durchlaufzeiten der Produkte bzw. Aufträge, die Kapazitätsauslastung der Produktiveinheiten und die Zwischenlagerbildung.

Die Leistungsrelationen $\rho_{pm}/\rho_{p,m+1}$ aufeinanderfolgender Arbeitsgänge können in den Stückprozessen verschiedenartiger Sorten- oder Serienprodukte unterschiedlich ausgeprägt sein. Zur Kennzeichnung des Produktionsprozesses sind einerseits die Leistungsrelationen je Stückprozeß zu analysieren und andererseits die Struktur der Leistungsrelationen verschiedener Stückprozesse zu vergleichen.

Innerhalb eines Stückprozesses können die Leistungsrelationen gleichgerichtet oder gemischt sein¹⁴. Eine *gleichgerichtete Leistungsrelation* liegt vor, wenn die Produktionsgeschwindigkeiten von Stufe zu Stufe entweder stets zunehmen (bzw. nicht abnehmen) oder stets abnehmen (bzw. nicht zunehmen). Zunehmende Produktionsgeschwindigkeiten lassen Zerreißlager¹⁵ entstehen, weil die nachfolgende Produktiveinheit in der Regel erst dann mit der Bearbeitung des Loses beginnt, wenn das Zwischenlager so viele Produkte enthält, daß eine ununterbrochene Fertigung möglich ist. Dagegen bilden sich bei abnehmenden Produktionsgeschwindigkeiten Aufstau- oder Kumulationslager. Aufeinanderfolgende Produktiveinheiten können hier unmittelbar nacheinander die Bearbeitung der Produkte eines Losen aufnehmen. Ihr Fertigungsbeginn ist lediglich um die Differenzen zwischen den Rüstzeiten sowie die Summe der Bearbeitungszeiten für die erste Produkteinheit auf den vorausgehenden Stufen verschoben. Diese Zeitverschiebung kann bei großen Losen vernachlässigt werden. Bei zunehmenden (abnehmenden) Produktionsgeschwindigkeiten bestimmt der erste (letzte) Arbeitsgang die Durchlaufzeiten der Aufträge. Es entstehen ‚abstimmungsbedingte‘ Zwischenlager und Leerzeiten, während sich reihenfolgeabhängige Zwischenlager vermeiden lassen¹⁶.

Im Fall *gemischter Leistungsrelationen* nehmen die Relationen der Produktionsgeschwindigkeiten $\rho_{dm}/\rho_{d,m+1}$ innerhalb eines Stückprozesses zu und ab.

¹⁴ Adam [Produktionsplanung] 108; Adam [Produktionsdurchführungsplanung] 485 ff.

¹⁵ Vgl. auch Pfaffenberger [Maschinenumstellkosten] 31 ff.; Pfaffenberger [Produktionsplanung] 105 ff.

¹⁶ Adam [Produktionsplanung] 108.

Daher bilden sich sowohl Zerreiß- als auch Aufstaulager. Ein Wechsel der Leistungsrelationen beeinflusst die Durchlaufzeit des Loses deutlich. Dabei bestimmt bei einem Wechsel von ab- auf zunehmende Produktionsgeschwindigkeiten gemäß Abbildung 31a der Arbeitsgang mit der geringsten Produktionsgeschwindigkeit das Bearbeitungsende des Loses auf den nachfolgenden Stufen mit zunehmenden Produktionsgeschwindigkeiten. Entsprechend Abbildung 31b ist bei einem Wechsel von zu- auf abnehmende Produktionsgeschwindigkeiten der Arbeitsgang mit der höchsten Produktionsgeschwindigkeit maßgebend für den Fertigungsbeginn des Loses auf den nachfolgenden Stufen mit abnehmenden Produktionsgeschwindigkeiten.

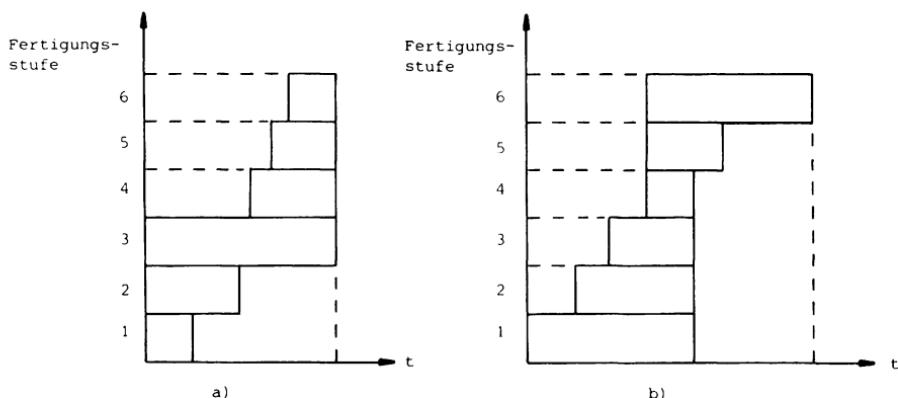


Abb. 31: Beispiele für Wechsel der Leistungsrelationen von a) ab- auf zunehmende bzw. b) zu- auf abnehmende Produktionsgeschwindigkeiten

Die Leistungsrelationen *unterschiedlicher* Stückprozesse können strukturgleich oder strukturverschieden sein. Sie werden als ‚strukturgleich‘ bezeichnet, wenn die Produktionsgeschwindigkeiten bei jedem Stückprozeß zunehmen, abnehmen oder nach denselben Stufen gleichgerichtete Wechsel der Leistungsrelationen auftreten. Die Richtung, aber nicht das Ausmaß in der Änderung der Produktionsgeschwindigkeiten muß bei ihnen übereinstimmen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so werden die Leistungsrelationen der Stückprozesse ‚strukturverschieden‘ genannt¹⁷. Aufgrund der beiden Merkmale ‚Leistungsrelationen je Stückprozeß‘ und ‚Struktur der Leistungsrelationen verschiedener Stückprozesse‘ kann man die in Abbildung 32 angegebenen vier Fälle unterscheiden.

¹⁷ Zwei Stückprozesse sind also strukturverschieden, wenn
a) der eine Prozeß zunehmende und der andere Prozeß abnehmende Produktionsgeschwindigkeiten aufweist bzw.
b) ein Wechsel der Leistungsrelationen in anderer Richtung oder
c) nach anderen Stufen erfolgt.

Leistungsrelationen je Stückprozeß	verschiedener Stückprozesse	strukturgleich	strukturverschieden
gleichgerichtet		A	C
gemischt		B	D

Abb. 32: Kombinationen der Merkmale ‚Leistungsrelationen je Stückprozeß‘ und ‚Struktur der Leistungsrelationen verschiedener Stückprozesse‘

Ein Beispiel mit drei Losen bzw. Aufträgen ist unter Vernachlässigung der Bearbeitungszeit für die jeweils erste Produktiveinheit in Abbildung 33 auf Seite 213 für alle vier Fälle dargestellt. Sind die Leistungsrelationen entsprechend Fall A bei allen Stückprozessen gleichgerichtet und strukturgleich, so richtet sich der Vollzug des Produktionsprozesses bei allen Produktarten nach demselben Arbeitsgang mit der geringsten Produktionsgeschwindigkeit (vgl. Abb. 33a). Sofern die Rüstzeiten reihenfolgeunabhängig sind, haben die Gangfolgen keinen Einfluß auf die Zwischenlagerbildung, die Zykluszeit eines Auftragsbestandes, die Durchlaufzeit der Lose zwischen erster und letzter Fertigungsstufe¹⁸ sowie die Kapazitätsauslastung¹⁹.

Dagegen sind die Kapazitätsauslastung und die Zykluszeit eines vorgegebenen Auftragsbestandes bei gemischten Leistungsrelationen je Stückprozeß und/oder strukturverschiedenen Leistungsrelationen mehrerer Stückprozesse auch reihenfolgeabhängig. In den Fällen B, C und D ist nämlich eine „Verschachtelung“ verschiedener Stückprozesse möglich, indem die von der mangelnden Leistungsabstimmung verursachten Leerzeiten innerhalb eines Stückprozesses zur Fertigung einer anderen Produktart genutzt werden.

Für den Fall B ist zusätzlich charakteristisch, daß reihenfolgebedingte Zwischenlager nur entstehen, wenn die Arbeitsgänge aller Stufen jeweils frühestmöglich begonnen werden. Hierdurch vermindern sich einerseits die Leerzeiten der Produktiveinheiten bis zur Fertigstellung eines Auftragsbestands. Andererseits erhöhen sich die Durchlaufzeiten zwischen erstem und letztem Arbeitsgang (vgl. Abb. 33b). Jedoch ist die Zykluszeit eines Auftragsbestands von der Bildung reihenfolgebedingter Zwischenlager unabhängig.

Interdependenzen zwischen Wartezeiten und Zykluszeit kommen bei strukturverschiedenen Leistungsrelationen der Stückprozesse zu den Interdependenzen zwischen Gangfolgen und Zykluszeit sowie Kapazitätsauslastung hinzu.

¹⁸ Die Wartezeit vor dem ersten Arbeitsgang wird nicht einbezogen, weil Beschaffungsvariablen nicht erfaßt sind.

¹⁹ Vgl. hierzu Adam [Produktionsplanung] 109 ff.

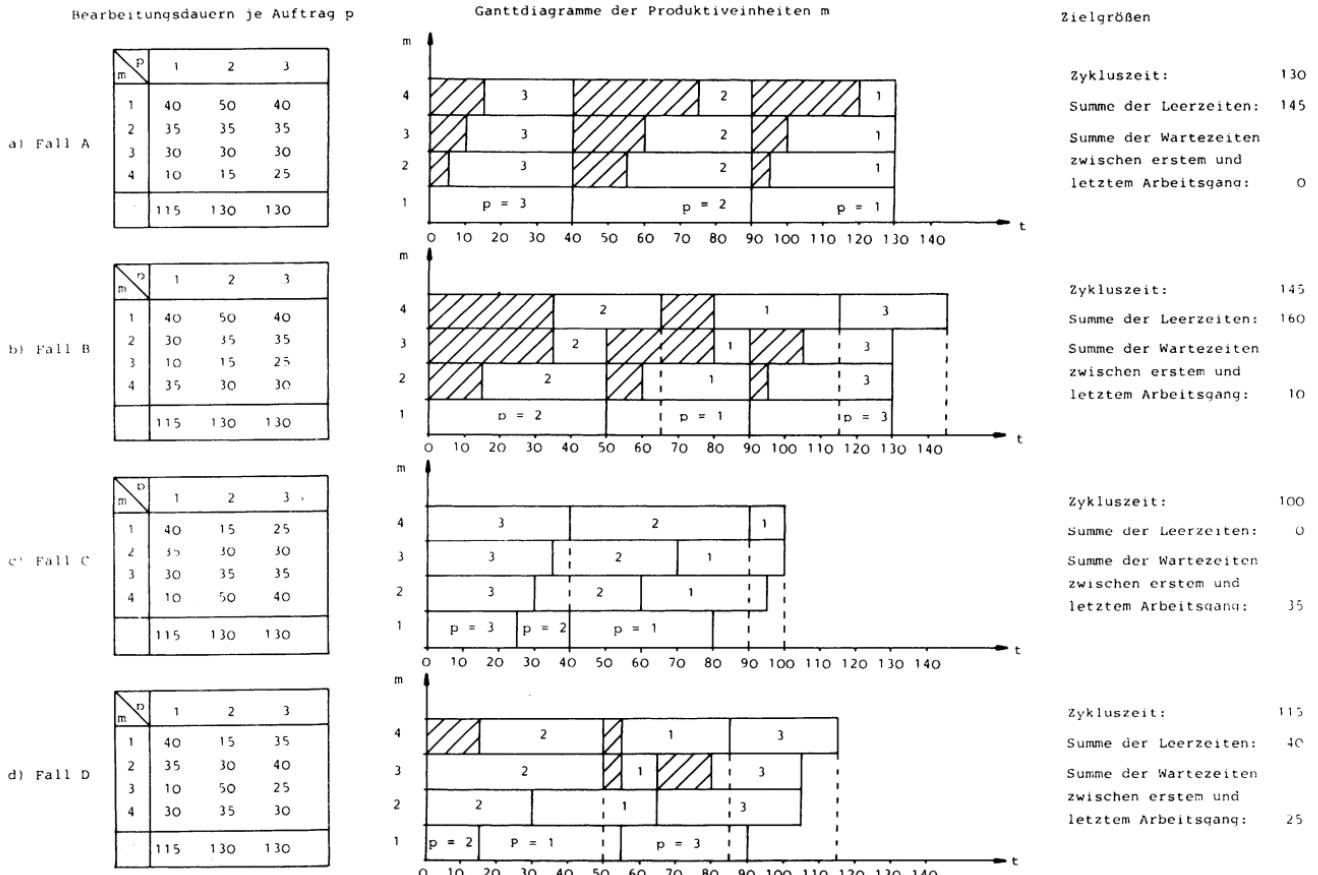


Abb. 33: Beispiele für Stückprozesse mit gleichgerichteten bzw. gemischten sowie strukturgleichen bzw. strukturverschiedenen Leistungsrelationen

Durch die Inkaufnahme reihenfolgebedingter Zwischenlager bzw. Wartezeiten können in den Fällen C und D bei einer Reihe von Gangfolgealternativen nicht nur die Leerzeiten, sondern auch die Zykluszeit vermindert werden (vgl. Abbildung 33c und d). Trotz der mangelnden Leistungsabstimmung kann in beiden Fällen ein hoher Auslastungsgrad der Fertigungslinie erreicht werden. Dabei nutzt man durch die Gangfolgeentscheidung und die Bildung reihenfolgeabhängiger Zwischenlager die strukturellen Unterschiede der Leistungsrelationen zum Ausgleich der Differenzen in den Produktionsgeschwindigkeiten verschiedener Stückprozesse aus. Dies ist um so eher möglich, je gegensätzlicher die Strukturen der Leistungsrelationen sind und je mehr der hohen Produktionsgeschwindigkeit eines Stückprozesses auf einer Stufe eine geringe Produktionsgeschwindigkeit eines anderen Stückprozesses auf derselben Stufe gegenübersteht. Damit wird über die Wahl der Gangfolgen eine „Leistungsabstimmung höherer Ordnung“ erreicht.

Große Unterschiede in den Produktionsgeschwindigkeiten und Leistungsrelationen werden bei Produkten, die auf derselben Fertigungslinie hergestellt werden können, aber nur in begrenztem Umfang vorliegen. Insbesondere bei Sortenprodukten ist davon auszugehen, daß jede Produktiveinheit an allen Produktarten ähnliche Verrichtungen ausführt. Deshalb werden die Leistungsrelationen verschiedenartiger Sortenprodukte, die auf derselben Fertigungslinie herstellbar sind, weithin strukturgleich sein. Bei Serienprodukten und Vorliegen von Mehrzweckaggregaten erscheint es eher möglich, daß die Leistungsrelationen der Stückprozesse unterschiedlich strukturiert sind. Somit ergibt sich die Hypothese, daß ein Ausgleich mangelnder Leistungsabstimmung bei der Herstellung von Sortenprodukten in Fließfertigung kaum und bei Serienprodukten in beschränktem Umfang möglich ist.

Die Interdependenzen zwischen den Bestimmungsgrößen des Produktionsvollzugs sind komplexer, wenn keine glatten Stückprozesse vorliegen. Die *Vergenz des Objektflusses* kommt in der Rohstoffeinsatzmatrix S_{RP} und der Produktverflechtungsmatrix S_{PP} sowie den ihnen entsprechenden Produktionskoeffizienten α_{rp}^0 in den Gleichungen C.112a sowie $\alpha_{pm,m+1}^0$ in den Gleichungen C.110 zum Ausdruck. Die geringste Abweichung gegenüber glatten Stückprozessen ergibt sich, wenn die Konvergenz des Objektflusses lediglich durch die Vereinigung mehrerer Rohstoffe hervorgerufen wird. Werden diese Rohstoffe in unterschiedlichen Produktiveinheiten der Fertigungslinie eingesetzt und an diesen bereitgestellt, so müssen die Produktionskoeffizienten des Rohstoffeinsatzes und die Gleichungen der Rohstoffe nach Produktiveinheiten differenziert werden. Man erhält dann die Gleichungen C.112b:

$$e_r^t = \sum_{p,m} \alpha_{rpm}^0 \cdot p_m \cdot d_{pm}^t + x_r^t + l_r^t - l_r^{t-1} \quad \text{für alle } r,t \quad (\text{C.112b})$$

Die Fertigung kann bei konvergierendem Rohstoffeinsatz erst durchgeführt werden, nachdem auf allen Stufen sämtliche benötigten Rohstoffe verfügbar

sind. Je mehr Rohstoffarten je Stückprozeß einzusetzen sind, desto enger ist somit die zeitliche Interdependenz zwischen Beschaffung und Fertigung.

Wenn sich die Fertigungsleitung bei einer Konvergenz selbst erstellter Zwischenprodukte aus mehreren zusammenfließenden Teillinien zusammensetzt, werden die Auswirkungen einer mangelnden Leistungsabstimmung der Produktiveinheiten verstärkt. Eine mangelnde Leistungsabstimmung der Teillinien führt bei deren Mündungspunkt in die Hauptlinie zu einer erhöhten Lagerbildung und vermehrten Leerzeiten, weil die Fertigung auf der Hauptlinie erst beginnen kann, wenn von allen Teillinien die einzusetzenden Zwischenprodukte geliefert sind. Da die Teillinien durch die Konvergenz der Zwischenprodukte stets in einer gegenseitigen zeitlichen Abhängigkeit stehen, ist ein Ausgleich dieser Wirkungen über eine „Verschachtelung“ verschiedener Stückprozesse in geringerem Maße als bei glattem Objektfluß durchführbar.

Eine Divergenz des Objektflusses führt zu einer Verzweigung der Fertigungsleitung, sofern die Endproduktarten von unterschiedlichen Produktiveinheiten bearbeitet werden²⁰. Im Fall programmbedingter Divergenz wird die auf der Hauptlinie hergestellte Produktmenge zur Erzeugung verschiedener Endproduktarten auf mehrere nachfolgende Teillinien verteilt. Aus einer mangelnden Leistungsabstimmung zwischen der Hauptlinie und den von ihr belieferten Teillinien kann folgen, daß die im Verzweigungspunkt erzeugte Produktmenge je Intervall zu gering ist, um alle nachfolgenden Teillinien voll auszulasten. Dann führt die mangelnde Leistungsabstimmung zu einem Verteilungsproblem. Aus der Verteilung der verfügbaren Produktmenge auf die Teillinien ergibt sich, in welchem Ausmaß bei einer oder mehreren Teillinien Leerzeiten auftreten. Übersteigt dagegen die Produktionsgeschwindigkeit der Hauptlinie bzw. der Produktiveinheit vor der Verzweigung die Summe aus den Produktionsgeschwindigkeiten der Teillinien, dann bewirkt die mangelnde Leistungsabstimmung eine erhöhte Lagerbildung im Verzweigungspunkt oder die Entstehung zusätzlicher Leerzeiten in der Hauptlinie. Bei prozeßbedingter Divergenz entsteht dieses Verteilungsproblem nicht. Sofern bei diesem Vergenztyp das Mengenverhältnis der Kuppelprodukte starr ist, hängen die Lagerbildung bzw. die Leerzeiten von den Differenzen zwischen den Produktionsgeschwindigkeiten der Hauptlinie und den vom Verzweigungspunkt ausgehenden Teillinien ab.

Ein umgruppierender Objektfluß zeigt sich im Zusammenfließen und Verzweigen mehrerer Teillinien, sofern die einzusetzenden Werkstoffarten auf verschiedenen Teillinien erzeugt werden und die Kuppelprodukte in mehreren nachfolgenden Teillinien weiterbearbeitet werden. Dann ist eine Produktiveinheit zugleich Mündungs- und Verzweigungspunkt der Fertigungsleitung. Ihre Produktionsgeschwindigkeit ist maßgebend für den gesamten Vollzug der

²⁰ Es ist auch möglich, daß dieselben Produktiveinheiten die verschiedenartigen Endprodukte nebeneinander fertigen. Vgl. Hahn [Produktionsplanung] 25.

Stückprozesse. In dieser Produktiveinheit ergeben sich Zwischenlager oder Leerzeiten, wenn die Produktionsgeschwindigkeiten der sie beliefernden Teillinien untereinander und/oder mit den Produktionsgeschwindigkeiten der von ihr ausgehenden Teillinien nicht genügend abgestimmt sind.

Allgemein erscheint die Hypothese gerechtfertigt, daß eine mangelnde Leistungsabstimmung der Produktiveinheiten um so höhere Zwischenlager und Leerzeiten entstehen läßt, je komplexer die Vergenz des Objektflusses und die durch sie bedingte Struktur der Fertigungsline sind.

d) Struktur der produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen bei Werkstattfertigung

Die größten Unterschiede zur Fließfertigung weist die Werkstattfertigung auf. In ihren Werkstätten sind häufig Universalmaschinen sowie fachlich hoch und vielseitig qualifizierte Arbeitskräfte eingesetzt¹. Deshalb können die Produktiveinheiten meist unterschiedliche Verrichtungsarten durchführen und eine große Zahl von Produktarten bearbeiten. Zudem bedienen die Arbeitskräfte innerhalb einer Werkstatt oft mehrere Anlagen. Durch die Ausstattung mit vielseitig qualifizierten Arbeitskräften und Anlagen kann in der Regel ein breites Produktionsprogramm erzeugt werden. Die Menge der herstellbaren Produktarten ist nicht immer eindeutig abgrenzbar². Aus diesen Merkmalen folgt eine hohe Anpassungsfähigkeit an Nachfrageänderungen. Die Endprodukte werden vielfach auf Kundenbestellungen hin und nicht auf Vorrat gefertigt³. Dabei kann die Einhaltung zugesagter Liefertermine ein wichtiges Ziel bilden. Die Steuerung der Produktion erfolgt für kurze Zeiträume. Die Produkte werden meist in kleinen Serien oder einzeln erzeugt, weil die Bestell- und Absatzmengen der einzelnen Endproduktarten im Planungszeitraum niedrig sind. Daher müssen in den Produktiveinheiten zahlreiche Umrüstungen durchgeführt werden. Wenn die Produktiveinheiten in kurzfristigem Wechsel verschiedenartige Verrichtungen vollziehen müssen, steigt die Ausschußquote⁴. Zudem besitzen fehlerhafte Produkte in kleinen Losen ein relativ größeres Gewicht.

Der Anwendungsbereich von Werkstattfertigung erstreckt sich vor allem auf Betriebe mit mechanischer Technologie und konvergierendem Objektfluß⁵. Vielfach besteht ferner eine programmbedingte Divergenz, weil Zwischenpro-

¹ Schäfer [Industriebetrieb 1] 175; Mellerowicz [Industrie] 340; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 278 f.

² Mellerowicz [Industrie] 340; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 278.

³ Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 320 ff.

⁴ Gutenberg [Produktion] 97; Mellerowicz [Industrie] 343.

⁵ Schäfer [Industriebetrieb 1] 171; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 283; aber auch Kölbel/Schulze [Produktionstypen] 149 ff.; Günther [Transportwesen] 144 ff.

dukte zu verschiedenartigen Endprodukten weiterverarbeitet werden. Eine große Zahl von Stückprozessen verschiedenartiger Endprodukte weist somit gemeinsame Zwischenprodukte und Produktiveinheiten auf. Durch die Konvergenz des Objektflusses erhöht sich die Zahl der Produktarten gegenüber glatten Stückprozessen stark.

Da die verschiedenenartigen Produkte die Werkstätten in unterschiedlicher Reihenfolge durchlaufen, gibt es eine Vielzahl von Transportwegen. Man setzt „... vorwiegend wendige Transportmittel mit vielseitiger Verwendungsmöglichkeit ...“⁶ ein. Wegen der geringen Stückzahlen je Serie und der langen Transportwege gibt man die Fertigungslose meist geschlossen weiter⁷.

Soweit sich die Fertigung lediglich nach eingegangenen Kundenbestellungen richtet, ist die art- und mengenmäßige Zusammensetzung des Fertigungsprogramms vom Absatz her vorgegeben. Damit können auch die Losgrößen weithin festliegen. Dann bietet es sich an, den Fertigungsprozeß durch ein *Produktionszeitenmodell* abzubilden⁸. Deshalb rechnen viele Modelle der Fertigungssteuerung bei Werkstattfertigung mit Zeitgrößen wie Bearbeitungszeiten je Auftrag, Durchlauf-, Warte- und Leerzeiten sowie Lieferterminen. Meist unterstellt man jedoch glatte Stückprozesse. Diese Prämisse erscheint im Hinblick auf die Realität wenig gerechtfertigt. Bei konvergierendem und programmbedingt divergierendem Objektfluß wird die Struktur der Aufträge an Zwischen- und Endprodukten in der Regel so kompliziert, daß eine Abbildung des Produktionsprozesses mit auftragsbezogenen Produktionszeitenmodellen äußerst schwierig ist⁹. Für eine umfassende Abbildung der Interdependenzen eignen sich daher auch bei Werkstattfertigung *Produktionsmengenmodelle* mehr, zumal sie die Fälle einschließen, in denen die Fertigungsmengen nicht (vollständig) vorgegeben sind.

Durch die Verschiedenartigkeit der Stückprozesse und die kleinen Serien sind die Zeitintervalle, in denen sich der Produktionsprozeß stationär vollzieht, bei Werkstattfertigung kurz. Um den Vollzug des Produktionsprozesses präzise abzubilden, muß deshalb in Produktionsmengenmodellen eine hohe Intervallzahl für den Betrachtungs- oder Planungszeitraum vorgegeben werden. Der Vorteil des Ansatzes mit variablen Intervalldauern, der in einer Berücksichtigung stationärer Zustände beruht, kommt wegen der häufigen Produktionswechsel nicht oder kaum zur Geltung. Die Dauer der Transportprozesse ist meist nicht von den Transportmengen, sondern von den Transportwegen abhängig. Um sie als Zeitdifferenz zwischen den Intervallen von Transportbeginn bis Transportende erfassen zu können, wird für Werkstattfertigung das Pro-

⁶ Mellerowicz [Industrie] 342 (im Original kursiv); Schäfer [Industriebetrieb 1] 175; Günther [Transportwesen] 169.

⁷ Schäfer [Industriebetrieb 1] 176; Günther [Transportwesen] 165.

⁸ Vgl. Seite 122 ff.

⁹ Vgl. Seite 142.

duktionsmengenmodell mit vorgegebenen *konstanten* Intervalldauern zugrunde gelegt. In ihm lassen sich auch einzuhaltende Liefertermine leicht berücksichtigen.

Die *Transportprozesse* und die variablen Transportkosten besitzen bei Werkstattfertigung eine relativ große Bedeutung¹⁰. Deshalb führt ihre Vernachlässigung zu einer starken Verminderung der Modellhomomorphie. In die Bearbeitungszeiten je Los¹¹ können die Transportzeiten insbesondere bei variablen Losgrößen nicht einbezogen werden. Während des Transports eines Loses ist häufig nur das Transportmittel und nicht die vorausgehende oder nachfolgende Anlage belegt¹². Darüber hinaus werden in einem Transportprozeß vielfach verschiedenartige Lose gemeinsam befördert¹³. Erfaßt man die Durchführung von Transportprozessen und die Transportmengen in den Modellvariablen, so lassen sich auch die Wirkungen einer Zusammenfassung mehrerer Fertigungslose zum Transport oder einer Bildung von Teillosen berücksichtigen¹⁴.

Die Abbildung der Transportprozesse in einem Produktionsmengenmodell hängt davon ab, welche Art von Transportmitteln in der Unternehmung verfügbar sind, ob bestimmte Transportwege festliegen und welcher Präzisionsgrad des Modells angestrebt wird. Man kann davon ausgehen, daß der Transport zwischen zwei Werkstätten wesentlich mehr Zeit beansprucht als Transportprozesse innerhalb einer Werkstatt. Deshalb erscheint es für eine annähernd homomorphe Abbildung ausreichend, lediglich Transportprozesse zwischen den Werkstätten explizit wiederzugeben. Zeitliche Verzögerungen für den Transport zwischen Produktiveinheiten derselben Werkstatt können in den Produktgleichungen indirekt erfaßt werden, indem ein Wiedereinsatz von Zwischenprodukten erst im nachfolgenden Intervall möglich ist.

Aus den verschiedenen Möglichkeiten zur Gestaltung des Transportwesens¹⁵ wird als Beispiel der Fall untersucht, daß N bewegliche Transportmittel $n = 1, \dots, N$ zur Verfügung stehen, die den Transport zwischen den Werkstätten $w = 1, \dots, W$ durchführen. Diese Transportmittel können von jeder Werkstatt und für alle Wege zwischen den Werkstätten eingesetzt werden¹⁶. Für die Transporte innerhalb der Werkstätten werden andere, im Modell nicht explizit erfaßte Transportmittel verwendet. Die Transportdauer θ_{nww} des n -ten Transportmit-

¹⁰ Gutenberg [Produktion] 97; Mellerowicz [Industrie] 345; Schweitzer [Industriebetriebslehre] 120 f.; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 279 f.

¹¹ Vgl. z. B. Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 17.

¹² Dabei wird unterstellt, daß der Transport nicht von der in der vorhergehenden oder nachfolgenden Anlage tätigen Arbeitskraft ausgeführt wird.

¹³ Man kann die beförderte Menge als eine Art von ‚Charge‘ auffassen.

¹⁴ Dieses Problem wird bei Anderegg auch aufgegriffen. Vgl. Anderegg [Vorlaufzeit] 326 ff.

¹⁵ Vgl. Ohse [Probleme] 632; Günther [Transportwesen] 169 ff.

¹⁶ Der Fall, daß einzelne Transportmittel nur auf bestimmten Wegen eingesetzt werden, kann durch eine entsprechende Modifikation des Ansatzes ohne weiteres berücksichtigt werden.

tels von Werkstatt w nach Werkstatt w' wird als transportmengenunabhängig¹⁷ unterstellt. Sie ist für alle Transportmittel und Transportwege als ganzzahliges Vielfaches der konstanten Intervalldauer δ^t gegeben. Jedes Transportmittel n kann die verschiedenen Produktarten befördern. Seine Kapazität Q_n wird in Gewichts-, Flächen- oder Raumeinheiten gemessen. Die p-te Produktart von Werkstatt w beansprucht vom n-ten Transportmittel ψ_{pwn} Kapazitätseinheiten. Die Möglichkeit eines Transports der Produktart pw von der Werkstatt w zur Werkstatt w' mit dem n-ten Transportmittel ist davon abhängig, ob dieses Transportmittel sich im betreffenden Intervall in Werkstatt w befindet und einen Transport zur Werkstatt w' beginnt. Die Durchführung eines Transports von w nach w' mit dem Transportmittel n kann durch eine binäre Zuordnungsvariable z_{nww}^t erfaßt werden, die wie folgt definiert ist:

$$z_{nww}^t = \begin{cases} 1, & \text{sofern das } n\text{-te Transportmittel im Intervall } t \text{ einen Transport von der Werkstatt } w \text{ nach der Werkstatt } w' \text{ beginnt} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Der Wertebereich dieser Variablen wird durch die Nichtnegativitäts- und Ganzzahligkeitsbedingungen C.116a sowie die Belegungsbedingungen für Transportmittel C.116b begrenzt:

$$z_{nww}^t \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \begin{matrix} w, w' = 1, \dots, W; \\ \text{für alle } n, t \end{matrix} \quad (\text{C. 116a})$$

$$\sum_{w, w'=1}^W z_{nww}^t \leq 1 \quad \text{für alle } n, t \quad (\text{C. 116b})$$

Die Bedingungen C.116b stellen sicher, daß jedes Transportmittel in jedem Intervall höchstens einen Transport ausführen kann.

Befindet sich das Transportmittel n zu Beginn des Betrachtungszeitraums in Werkstatt w, so wird $z_{nw}^0 = 1$ gesetzt. Ein Transport von w nach w' mit dem n-ten Transportmittel kann im Intervall t nur gestartet werden, wenn bis zu diesem Intervall die Zahl seiner Ankünfte in w einschließlich seines Standorts zu Beginn des Betrachtungszeitraums um eine Einheit größer ist als die Zahl seiner Starts nach irgendeiner anderen Werkstatt w'. Unter Berücksichtigung der Transportzeit $\theta_{nw'w}$ des n-ten Transportmittels von Werkstatt w' nach Werkstatt w kann die Verfügbarkeit dieses Transportmittels in Werkstatt w durch Nebenbedingungen der Art C.117 ausgedrückt werden¹⁸:

$$z_{nw}^0 + \sum_{\kappa=1}^t \sum_{w''=1}^W z_{nw''w}^{\kappa-1} - \sum_{\kappa=1}^{t-1} \sum_{w''=1}^W z_{nw''}^\kappa \geq z_{nww}^t, \quad \begin{matrix} \text{für alle } n, w, t \end{matrix} \quad (\text{C. 117})$$

¹⁷ Dabei wird vereinfachend die mengenabhängige Zeit zum Be- und Entladen des Transportmittels vernachlässigt.

¹⁸ Man kann unterstellen, daß sich zu Beginn des Betrachtungszeitraums jedes Transportmittel in einer Werkstatt befindet.

Durch die Nebenbedingungen C.117 wird zugleich sichergestellt, daß während der Transportzeit Θ_{nww} von w' nach w das n-te Transportmittel keinen anderen Transportprozeß beginnen kann.

Die Transportmenge der in Werkstatt w hergestellten Produktart pw, die mit dem Transportmittel n im Intervall t zur Werkstatt w' befördert wird, kann durch die Variable p_{pwnw}^t bezeichnet werden. Ihr Wert kann nur größer als Null sein, sofern das n-te Transportmittel in t einen Transport von w nach w' beginnt und somit $z_{nww}^t = 1$ gilt. Ferner darf die Transportmenge sämtlicher von w nach w' durch n beförderten Produktarten p die Transportkapazität Q_n nicht überschreiten. Beide Anforderungen werden unter Beachtung des von jeder Produkteinheit in Anspruch genommenen Anteils ω_{pwn} der Transportkapazität durch die Nebenbedingungen C.118 wiedergegeben:

$$\sum_p \omega_{pwn} \cdot p_{pwnw}^t \leq z_{nww}^t \cdot Q_n \quad \begin{matrix} w, w' = 1, \dots, W; \\ \text{für alle } n, t \end{matrix} \quad (\text{C.118})$$

Durch die explizite Abbildung der Transportprozesse zwischen den Werkstätten wird es notwendig, für alle Produktarten zwei Arten von Produktgleichungen zu formulieren. Die in der Werkstatt w erzeugte Produktart pw kann – sofern sie sich nicht auf einem Transport befindet – entweder in w oder nach einem Transportprozeß in einer anderen Werkstatt w' gelagert werden¹⁹. Innerhalb der Werkstätten wird nicht nach Lagerstandorten differenziert, weil die internen Transportprozesse nicht explizit abgebildet sind. Man kann davon ausgehen, daß jede Zwischen- oder Endproduktart nur in einer Werkstatt erzeugt werden kann. Ferner wird unterstellt, daß die zum Wiedereinsatz in derselben Werkstatt, zum Transport in eine andere Werkstatt oder zum Absatz bestimmten Produkte jeweils im vorhergehenden Intervall bereitgestellt werden müssen. Dann setzt sich die nicht für den Wiedereinsatz, Transport oder Absatz bereitgestellte Menge²⁰ l_{pw}^t einer in Werkstatt w hergestellten und dort gelagerten Produktart pw am Ende des Intervalls t aus folgenden Größen zusammen:

- Lagerbestand der in Werkstatt w hergestellten und dort gelagerten Produktart pw am Ende von Intervall t – 1
- + Summe der im Intervall t in Werkstatt w hergestellten Produktmenge von pw
- im Intervall t bereitgestellte Menge der Produktart pw zum Wiedereinsatz in derselben Werkstatt im Intervall t + 1
- im Intervall t zum Transport zu einer anderen Werkstatt im Intervall t + 1 bereitgestellte Menge der Produktart pw
- im Intervall t zum Absatz im Intervall t + 1 bereitgestellte Menge der Produktart pw

Die approximative Abbildung der Produktweitergabe innerhalb der Werkstätten durch eine Verweilzeit von einem Intervall ist wenig präzise. In der Rea-

¹⁹ Gegebenenfalls können zusätzlich bestimmte Lagerstandorte eingeführt werden.

²⁰ Zur Kennzeichnung dieser Lagermenge vgl. auch Seite 85. Vgl. zu einem Ansatz, bei dem von den Lagermengen während des Intervalls ausgegangen und ebenfalls eine Verweilzeit von einem Intervall unterstellt wird, Schneiderhan [Abstimmung] 75 ff.

lität hängen diese Verweilzeiten von der Produktart und der Losgröße ab. Ihre explizite Erfassung entsprechend den Beziehungen C.117 und C.118 führt aber zu einer erheblichen Ausdehnung des Modellumfangs.

In einer Werkstatt w sind die Produktiveinheiten $m = 1, \dots, M_w$ zusammengefaßt, die jeweils mit Δ verschiedenen Intensitätsgraden δ arbeiten können²¹. Eine Produktart pw kann von den (verrichtungsgleichen) Produktiveinheiten m der Werkstatt w erzeugt werden, für welche die vorgegebenen Koeffizienten der Produktionsgeschwindigkeiten $\rho_{pwm\delta}$ größer als Null sind. Die binäre Zuordnungsvariable $z_{pwm\delta}^t$ gibt an, ob im Intervall t die Produktart pw von der m-ten Produktiveinheit der w-ten Werkstatt mit einer Intensität δ gefertigt wird. Da die Produktarten bei Kleinserien- und Einzelfertigung höchstens eine geringe Verwandtschaft besitzen, erscheint es berechtigt, reihenfolgeunabhängige Rüstzeiten h_{pwm} zu unterstellen²². Obwohl die Rüstzeiten nicht von den Intensitäten abhängen, sind die Umrüstvariablen $u_{pwm\delta}^t$ nach den Intensitätsgraden δ zu differenzieren, um die für den Betriebsstoff- und Arbeitseinsatz maßgeblichen Fertigungszeiten ermitteln zu können. Die Leerzeitvariablen werden durch $v_{pwm\delta}^t$ bezeichnet. In Weiterentwicklung des allgemeinen Produktionsmengenmodells C.73 bei konstanten Intervalldauern \bar{d}^t ²³ erhält man die Bruttoherstellungsmenge p_{pw}^t der p-ten Produktart, die im Intervall t in der w-ten Werkstatt gefertigt wird, durch Gleichung C.119:

$$p_{pw}^t = \sum_{m, \delta} (z_{pwm\delta}^t - \frac{h_{pwm}}{\bar{d}^t} \cdot u_{pwm\delta}^t - v_{pwm\delta}^t) \cdot \rho_{pwm\delta} \cdot \bar{d}^t \quad (\text{C.119})$$

Maßgebend für den Wiedereinsatz der Produktart pw in derselben Werkstatt sind die Produktionskoeffizienten α_{pwqw}^l . Sie geben an, welche Menge der p-ten Produktart von Werkstatt w zur Herstellung einer Einheit der q-ten Produktart von Werkstatt w verbraucht wird. Die zum Transport bereitzustellende Menge der Produktart pw ergibt sich, wenn man die in C.118 enthaltenen Transportmengenvariablen p_{pwnw}^t über alle Transportmittel und alle Empfangsorte w' summiert²⁴. Damit lauten unter Berücksichtigung der Ausschußkoeffizienten²⁵ $\Psi_{pwm\delta}$ und der Absatzvariablen x_{pw}^t die Produktgleichungen für die in Werkstatt w hergestellte und gelagerte Produktart pw:

²¹ Sofern die Intensitätsgrade kontinuierlich variierbare Intensitäten approximativ wiedergeben, kann man unterstellen, daß für alle Produktiveinheiten dieselbe Anzahl Δ von Intensitätsgraden berücksichtigt wird.

²² Vgl. Gutenberg [Produktion] 203 f. und 212 f. Er führt das Problem reihenfolgeabhängiger Rüstkosten nur bei ‚Sortenprogrammen‘ an.

²³ Vgl. Seite 166.

²⁴ Dies ist notwendig, obwohl jedes Transportmittel höchstens eine Werkstatt in t anfahren kann.

²⁵ Sie entsprechen dem Verhältnis zwischen Netto- und Bruttoproduktionsmengen.

$$\begin{aligned}
 l_{pw}^t &= l_{pw}^{t-1} + \sum_{m, \delta} \psi_{pwm\delta} \cdot (z_{pwm\delta}^t - \frac{h_{pwm}}{\bar{d}^t} \cdot u_{pwm\delta}^t - v_{pwm\delta}) \cdot e_{pwm\delta} \cdot \bar{d}^t \\
 &- \sum_{q=1}^P \alpha_{pwqw}^1 \cdot p_{qw}^{t+1} - \sum_{n,w} p_{pwnw}^{t+1} - x_{pw}^{t+1}
 \end{aligned} \tag{C.120}$$

für alle p, w, t

Zur Abbildung der Input-Output-Beziehungen zwischen den in unterschiedlichen Werkstätten erzeugten Produktarten sind ferner Produktgleichungen für die in Werkstatt w hergestellten, aber nach Werkstatt w' transportierten und dort gelagerten Produkte aufzustellen. Man kann wiederum annehmen, daß die Einsatzmengen jeweils im vorhergehenden Intervall bereitzustellen sind. Die (noch) nicht für den Einsatz in w' bereitgestellte Menge l_{pww}^t der in Werkstatt w gefertigten und in Werkstatt w' gelagerten Produktart pw am Ende des Intervalls t setzt sich aus folgenden Größen zusammen:

- Lagerbestand der in Werkstatt w hergestellten und in Werkstatt w' gelagerten Produktart pw am Ende von Intervall $t - 1$
- + Transportmenge der Produktart pw , die in Werkstatt w hergestellt worden ist und im Intervall t mit einem Transportmittel zur Werkstatt w' geliefert wird
- im Intervall t bereitgestellte Menge der Produktart pw zum Einsatz in Werkstatt w' im Intervall $t + 1$

Will man auch den Fall in Betracht ziehen, daß Produkte zuerst in eine andere Werkstatt geliefert und zum Beispiel wegen einer Planrevision von dort aus zum Absatz bereitgestellt werden, müssen in diese Produktgleichungen zusätzliche Absatzvariablen aufgenommen werden.

Innerhalb des Intervalls t wird die mit dem n -ten Transportmittel beförderte Produktmenge in Werkstatt w' angeliefert, deren Transport θ_{nww} Intervalle vor t in Werkstatt w gestartet worden ist. Der Bedarf einer in Werkstatt w erzeugten Produktart pw zur Fertigung einer Einheit der Produktart qw' einer anderen Werkstatt w' wird durch die Produktionskoeffizienten α_{pwqw}^1 erfaßt. Für die in Werkstatt w erzeugten und in Werkstatt w' gelagerten Produkte erhält man daher die Produktgleichungen C.121:

$$l_{pww}^t = l_{pww}^{t-1} + \sum_n p_{pwnw}^{t-\theta_{nww}} - \sum_{q=1}^P \alpha_{pwqw}^1 \cdot p_{qw}^{t+1} \tag{C.121}$$

$w, w' = 1, \dots, W; \text{ für alle } p, t$

In dem entwickelten Ansatz wird unterstellt, daß Produkte nur direkt zu den Werkstätten befördert werden, in denen man sie wieder einsetzt. Durch Einführung zusätzlicher Transportvariablen für Produktarten, die in Werkstatt w hergestellt und zwischen anderen Werkstätten befördert werden, könnte die Möglichkeit einer indirekten Belieferung berücksichtigt werden. Entsprechend dem allgemeinen Produktionsmodell bei konstanten Intervalldauern

C.73 werden die Werte der in C.118 bis C.121 enthaltenen Variablen durch die weiteren Nebenbedingungen C.122a bis e begrenzt:

$$z_{pwm\delta}^t \quad \text{ganzzahlig} \quad \text{für alle } p, w, m, \delta, t \quad (\text{C.122a})$$

$$\sum_{p, \delta} z_{pwm\delta}^t \leq 1 \quad \text{für alle } w, m, t \quad (\text{C.122b})$$

$$u_{pwm\delta}^t \geq z_{pwm\delta}^t - \sum_{\delta} z_{pwm\delta}^{t-1} \quad \text{für alle } p, w, m, \delta, t \quad (\text{C.122c})$$

$$v_{pwm\delta}^t \leq z_{pwm\delta}^t - \frac{h_{pwm}}{\bar{d}^t} \cdot u_{pwm\delta}^t \quad \text{für alle } p, w, m, \delta, t \quad (\text{C.122d})$$

$$z_{pwm\delta}^t, l_{pw}^t, l_{pww}^t, x_{pw}^t, u_{pwm\delta}^t, v_{pwm\delta}^t, p_{pwnw}^t \geq 0 \quad (\text{C.122e})$$

für alle p, w, m, δ, t

Die Transportprozesse zwischen dem Eingangslager für Rohstoffe und den Werkstätten können in einem entsprechenden Ansatz wie der Transport von Produkten zwischen den Werkstätten abgebildet werden. Da die Struktur eines solchen Ansatzes keine Besonderheiten aufweist, wird auf diese Erweiterung verzichtet. Vielmehr werden die Transportdauern approximativ durch eine zeitliche Verzögerung zwischen der Bereitstellung von Rohstoffen und ihrem Einsatz in einer der Werkstätten um ein Intervall erfaßt. Die Produktionskoeffizienten α_{rpw}^1 geben an, welche Menge des Rohstoffes r zur Erzeugung einer Einheit der Produktart pw verbraucht wird. Dann ergeben sich für jeden Rohstoff r Gleichungen der Art C.123:

$$e_r^t = \sum_{p, w} \alpha_{rpw}^1 \cdot p_{pw}^{t+1} + x_r^{t+1} + l_r^t - l_r^{t-1} \quad (\text{C.123})$$

für alle r, t

Der Betriebsstoffverbrauch wird für die Fertigung innerhalb der Werkstätten und die Transporte zwischen den Werkstätten erfaßt. Gemäß den in Abschnitt C.II.2.a²⁶ entwickelten Einsatzfunktionen C.77 für Betriebsstoffe wird angenommen, daß der Betriebsstoffverbrauch entsprechend den Koeffizienten $\beta_{bwm\delta}$ bzw. γ_{bwm} von den Fertigungs- bzw. Rüstzeiten der Produktiveinheiten m in den Werkstätten w abhängt. Die Fertigungszeit $d_{pwm\delta}^t$ der Produktiveinheit wm bei Erzeugung von Produktart pw mit einer Intensität δ beträgt in t

$$d_{pwm\delta}^t = (z_{pwm\delta}^t - \frac{h_{pwm}}{\bar{d}^t} \cdot u_{pwm\delta}^t - v_{pwm\delta}^t) \bar{d}^t \quad (\text{C.124})$$

²⁶ Vgl. Seite 172 f.

Zeiteinheiten, während ihre Umrüstung auf Produktart pw

$$\sum_{\delta} h_{pwm} \cdot u_{pwm\delta}^t$$

Zeiteinheiten beansprucht. Man kann ferner annehmen, daß jedes eingesetzte Transportmittel $n \beta_{bn}$ Mengeneinheiten des b-ten Betriebsstoffes je Intervall verbraucht. Das Transportmittel befindet sich in dem Intervall t im Einsatz, in dem der Transport begonnen wird, und in den darauffolgenden Intervallen $t + \theta_{nww} - 1$ bis zum Ende der Transportdauer θ_{nww} . Somit werden vom b-ten Betriebsstoff für Transportprozesse im Intervall t

$$\sum_n \beta_{bn} \cdot \sum_{w,w'=1}^W \sum_{\kappa=0}^{\theta_{nww}-1} z_{nww}^{t-\kappa}$$

Einheiten verbraucht²⁷. Betriebsstoffe wie Energie oder Öle werden häufig in einem fest installierten Transportsystem schnell befördert. Deshalb wird bei ihnen auf eine Berücksichtigung von Transportzeiten verzichtet. Mit Hilfe der Beschaffungsvariablen e_b^t , der Lagerbestandsvariablen l_b^t sowie der Absatzvariablen x_b^t lassen sich für jeden Betriebsstoff b die Gleichungen C.125 aufstellen:

$$\begin{aligned} e_b^t = & \sum_{w,m,\delta} \beta_{bwm\delta} \cdot \sum_p d_{pwm\delta}^t + \sum_{w,m} \gamma_{bwm} \cdot \sum_{p,\delta} h_{pwm} \cdot u_{pwm\delta}^t \\ & + \sum_n \beta_{bn} \cdot \sum_{w,w'=1}^W \sum_{\kappa=0}^{\theta_{nww}-1} z_{nww}^{t-\kappa} + x_b^t + l_b^t - l_b^{t-1} \end{aligned} \quad (\text{C.125})$$

für alle b,t

Die Einsatzzeit r_{wm}^t jeder Produktiveinheit m der w-ten Werkstatt während des Intervalls t ergibt sich aus der Summe ihrer Fertigungs- und Rüstzeiten. Sie kann im Modell mit konstanten Intervalldauern direkt über die Zuordnungs- und die Leerzeitvariablen bestimmt werden. Es gilt:

$$r_{wm}^t = \sum_{p,\delta} (z_{pwm\delta}^t - v_{pwm\delta}^t) \cdot \bar{d}^t \quad \text{für alle } w,m,t \quad (\text{C.126})$$

Die Einsatzzeit r_n^t eines Transportmittels n im Intervall t entspricht näherungsweise der Intervalldauer, sofern es in diesem Intervall einen Transport ausführt. Unter Beachtung der Transportdauer θ_{nww} lässt sie sich nach Gleichung C.127 ermitteln:

$$r_n^t = \sum_{w,w'=1}^W \sum_{\kappa=0}^{\theta_{nww}-1} z_{nww}^{t-\kappa} \cdot \bar{d}^t \quad \text{für alle } n,t \quad (\text{C.127})$$

²⁷ Die Werte von z_{nww}^t für $t < 1$ sind als Daten vorgegeben.

Bei Werkstattfertigung bedient eine Arbeitskraft vielfach mehrere Anlagen in derselben Werkstatt. Jede Arbeitskraft a der w -ten Werkstatt ist an einer Teilmenge M_{aw} aller M_w Anlagen bzw. Produktiveinheiten der Werkstatt w eingesetzt. Gemäß den in Abschnitt C.II.2. entwickelten Einsatzfunktionen für menschliche Arbeitskräfte C.75²⁸ wird davon ausgegangen, daß sich ihre Einsatzzeit aus Rüst-, Tätigkeits-, Verteil- und Erholungszeiten zusammensetzt. Die Tätigkeits-, die Verteil- und die Erholungszeiten sind entsprechend den Koeffizienten ϵ_{pwm} , μ_{wm} und η_{wm} proportional zu den Fertigungszeiten d_{pwm}^t der von einer Arbeitskraft bedienten Anlagen. Die Einsatzzeit r_{aw}^t der a -ten Arbeitskraft, die in Werkstatt w tätig ist, läßt sich daher durch Gleichung C.128 ermitteln:

$$r_{aw}^t = \sum_{m \in M_{aw}} \left[\sum_{p, \delta} h_{pwm} u_{pwm\delta}^t + \sum_{p, \delta} (\epsilon_{pwm} + \mu_{wm} + \eta_{wm}) \cdot d_{pwm\delta}^t \right] \quad \text{für alle } a, w, t \quad (\text{C.128})$$

Wenn eine Arbeitskraft an mehreren Anlagen bzw. Produktiveinheiten eingesetzt ist, muß durch die zusätzlichen Nebenbedingungen C.129 sichergestellt werden, daß ihre Einsatzzeiten die Intervalldauern nicht überschreiten:

$$r_{aw}^t \leq \bar{d}^t \quad \text{für alle } a, w, t \quad (\text{C.129})$$

Für den Einsatz menschlicher Arbeit in Transportprozessen kann als Beispiel angenommen werden, daß jedem Transportmittel genau eine Arbeitskraft zugeordnet ist und jede Arbeitskraft lediglich ein Transportmittel bedient. Dann entspricht die Einsatzzeit r_{an}^t der am Transportmittel n tätigen Arbeitskraft a der Einsatzzeit dieses Transportmittels r_n^t . Aufgrund von Gleichung C.127 gilt also:

$$r_{an}^t = r_n^t = \sum_{w, w'=1}^W \sum_{\kappa=0}^{\theta_{nww'}-1} z_{nww'}^{t-\kappa} \cdot \bar{d}^t \quad \text{für alle } n, t \quad (\text{C.130})$$

Aus der Struktur des entwickelten Produktionsmodells ist ersichtlich, daß der Vollzug des Produktionsprozesses bei Werkstattfertigung von den Ausprägungen zahlreicher Bestimmungsgrößen abhängt. Neben dem aus vielen Produktarten pw zusammengesetzten Produktionsprogramm sind die in den Produktionskoeffizienten α_{pw}^l , α_{pwqw}^l und α_{pwqvw}^l ²⁹ zum Ausdruck kommende Konvergenz und programmbedingte Divergenz sowie die verschiedenartigen Operationenfolgen für die Komplexität des Produktionsprozesses maßgebend.

Da sich in den Werkstätten meist mehrere verrichtungsgleiche Produktiveinheiten befinden und diese häufig mehrere Verrichtungsarten beherrschen, be-

28 Vgl. Seite 172.

29 Vgl. die Gleichungen C.123, C.120 und C.121.

stehen zahlreiche Alternativen der Arbeitsverteilung. Dieser Tatbestand ist wie die Möglichkeit der intensitätsmäßigen Anpassung daraus erkennbar, daß die Koeffizienten der Produktionsgeschwindigkeit $\rho_{pwm}\delta$ für dieselbe Produktart pw bei mehreren Produktiveinheiten m sowie Intensitätsgraden δ größer als Null sind. Die Zahl der Gangfolgealternativen an jeder Produktiveinheit ist wegen der Vielzahl kleiner Lose bzw. Aufträge sehr groß. In der Regel hat jede Produktiveinheit aufgrund der unterschiedlichen Operationenfolgen der Stückprozesse andere Produkte bzw. Aufträge zu bearbeiten und damit eine andere Auftrags- bzw. Gangfolge. Arbeitsverteilung und Gangfolgen sind interdependent, weil einerseits die Menge der Gangfolgealternativen einer Produktiveinheit von den ihr zugeordneten Produkten bzw. Aufträgen abhängig ist. Andererseits werden die Auswirkungen der Arbeitsverteilungsalternativen auf Warte- und Leerzeiten von den bei ihnen realisierbaren Gangfolgen bestimmt³⁰.

Die Bearbeitungsdauern der von einer Produktiveinheit zu fertigenden Aufträge können stark differieren, weil die Produktionsgeschwindigkeiten $\rho_{pwm}\delta$ bei Durchführung verschiedenartiger Verrichtungen sowie die Losgrößen relativ deutlich voneinander abweichen. Dabei nehmen die Losgrößen im Fall eines konvergierenden und programmbedingt divergierenden Objektflusses mit zunehmender Fertigungsreife ab, wenn die Produktionskoeffizienten α_{pwq}^l größer als Eins sind. Bei programmbedingter Divergenz des Objektflusses können sich Möglichkeiten zur kurzfristigen Revision des Absatzprogrammes ergeben, indem eine verfügbare Zwischenproduktmenge entgegen dem ursprünglichen Plan zur beschleunigten Herstellung dringend geforderter anderer Absatzgüter verwendet wird. Die Möglichkeit zur Erzeugung von Endprodukten in kurzer Zeit wird von den verfügbaren Lagerbeständen l_{pw}^t bzw. l_{pww}^t an (Zwischen-)Produkten bestimmt. Ferner hängt der Vollzug des Produktionsprozesses von den Lagerbeständen l_p^t bzw. l_b^t sowie den Beschaffungsmöglichkeiten und Beschaffungsmengen e_p^t bzw. e_b^t der Roh- und Betriebsstoffe ab. Ein weiterer Einfluß geht von den verfügbaren Transportmitteln n, den Transportzeiten ϑ_{nww} und den Entscheidungen über die Transportwege sowie die Transportmengen der einzelnen Transportmittel aus. Darüber hinaus beschränken die Zahl der von einer Arbeitskraft zu bedienenden Anlagen, ihr Zeitaufwand zur Maschinenbedienung sowie für Verteil- und Erholungszeiten neben der Gesamtzahl verfügbarer Arbeitskräfte und Anlagen die Produktionsmöglichkeiten. Die große Zahl von Handlungsalternativen begründet die fertigungstechnische Elastizität³¹ der Werkstattfertigung.

Das gesamte Produktionsmodell der Werkstattfertigung aus den Beziehungen C.116 bis C.130 besitzt eine äußerst komplexe Struktur. Die Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung sind vieldeutig. Die große Zahl

³⁰ Vgl. Adam [Produktionsdurchführungsplanung] 340 f.

³¹ Schäfer [Industriebetrieb 1] 175; Mellerowicz [Industrie] 344; Schweitzer [Industriebetriebslehre] 120; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 278.

der Variablen und Nebenbedingungen³² des Modells folgt aus der Vielzahl von Handlungsalternativen und Bestimmungsgrößen, die bei Werkstattfertigung maßgebend sind. Deshalb ist eine exakte Produktionsplanung, welche die Interdependenzen zwischen Gütereinsatz sowie -ausbringung und der Organisation des Produktionsprozesses umfassend berücksichtigt, auch bei Entwicklung leistungsfähigerer gemischt-ganzzahliger Programmierungsalgorithmen in der Realität kaum durchführbar. Statt dessen versucht man vielfach, den Produktionsprozeß bei Werkstattfertigung durch Aufspaltung in partielle Entscheidungsfelder und die Anwendung einfacher Entscheidungsregeln zu planen und zu steuern³³. Die Wirksamkeit verschiedener Entscheidungs- und Prioritätsregeln³⁴ kann mit Hilfe von Simulationen untersucht werden. Das hier entwickelte und recht umfassende produktions- und organisationstheoretische Aussagensystem zeigt auf, welche Bestimmungsgrößen, Handlungsvariablen und Interdependenzen in Simulationsmodellen der Werkstattfertigung nach Möglichkeit zu erfassen sind. Deshalb wird es als theoretische Basis zur Entwicklung praktisch anwendbarer Planungs- und Steuerungstechniken verstanden.

e) Struktur der produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen bei Werkstattfließfertigung

Die Werkstattfließfertigung¹ weist Elemente der Werkstattfertigung und der Fließfertigung auf. Sind in den nach gemeinsamen Operationenfolgen² angeordneten Werkstätten *gleichartige* Produktiveinheiten zusammengefaßt, so steht die Werkstattfließfertigung der Fließfertigung mit geringem Grad an Leistungsabstimmung sehr nahe. Jedoch können die Maschinenfolgen der Produkte unterschiedlich strukturiert werden, weil in jeder Werkstatt verschiedene Möglichkeiten der Arbeitsverteilung wählbar sind. Hieraus folgt eine hohe Anpassungsfähigkeit der Werkstattfließfertigung³. Eine enge Beziehung zur

³² Zu ihrer Ermittlung vgl. Abbildung 29 auf Seite 202.

³³ Hackstein/Dienstdorf [Kapazitätsplanung] 22 ff.

³⁴ Vgl. Cobham [Assignment] 70 ff.; Rowe/Jackson [Problems] 116 ff.; White/Christie [Queueing] 79 ff.; Conway/Johnson/Maxwell [Investigation] 221 ff.; Conway/Maxwell [Model] 132 ff.; Baker/Dzielinski [Simulation] 311 ff.; Jackson [Queues] 18 ff.; Conway/Maxwell [Dispatching] 51 ff.; Avi-Itzhak [Queues] 597 ff.; Gaver [Comparison] 219 ff.; Gere [Scheduling] 167 ff.; Haynes/Komar/Byrd [Effectiveness] 575 ff.; Holloway/Nelson [Scheduling] 1264 ff.; Hinrichsen [Prioritätsregeln] 811 ff.; Hershauer/Ebert [Search] 833 ff.; zum Überblick vgl. Hauk [Auftragsplanung] 20 ff.; Conway/Maxwell/Miller [Scheduling] 141 ff.; Hoss [Fertigungsablaufplanung] 137 ff.; Müller [Lagerdisposition] 78 ff.; Müller-Merbach [Reihenfolgen] 175 ff.; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 171 ff.

¹ Zur Kennzeichnung dieses Organisationstyps vgl. Seite 107.

² Weichen die Werkstattfolgen bei einigen Produkten ab, so liegt eine Übergangsform zwischen Werkstattfließ- und Werkstattfertigung vor. Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 285.

³ Vgl. Schäfer [Industriebetrieb 1] 194.

Werkstattfertigung liegt dagegen vor, wenn in jeder Werkstatt lediglich *verrichtungssähnliche* Produktiveinheiten zusammengefaßt sind. Dann müssen verschiedenartige Produkte (z. B. verschiedene Sorten) zumindest teilweise von unterschiedlichen Produktiveinheiten einer Werkstatt bearbeitet werden. Ferner können in derselben Werkstatt an einem Objekt mehrere Arbeitsgänge auf verschiedenen Produktiveinheiten durchzuführen sein. Durch die gleichartige Werkstattfolge stimmen die Stückprozesse aber weit mehr überein als bei Werkstattfertigung.

Da Werkstattfließfertigung im allgemeinen nur bei Sorten- und Großserienprodukten angewandt wird, vollzieht sich ihr Fertigungsprozeß in (verhältnismäßig) großen Losen⁴. Ferner ist der Objektfluß meist glatt oder (schwach) konvergierend. Die Zahl der hergestellten Zwischen- und Endproduktarten ist begrenzt. Daher kann es längere Zeitintervalle mit stationärem Produktionszustand geben, in denen auf keiner Produktiveinheit ein Wechsel vorgenommen wird.

Durch die übereinstimmenden Werkstattfolgen der Stückprozesse sind die Transportwege wesentlich kürzer als bei Werkstattfertigung. Transportverbindungen bestehen jeweils zwischen unmittelbar aufeinanderfolgenden Werkstätten. Innerhalb der Werkstätten differieren die Transportwege der Stückprozesse, wenn die Produkte von unterschiedlichen Produktiveinheiten bearbeitet werden. Die Transportwege sind jedoch länger als bei einer Anordnung der Produktiveinheiten in Fertigungslinien.

Die Länge der Transportwege, die Art der verfügbaren Transportmittel⁵ und die Beschaffenheit der zu transportierenden Produkte beeinflussen die Art der Weitergabe bearbeiteter Produkte. Durch die höhere Übereinstimmung der Stückprozesse verschiedenartiger Endprodukte kann eine losweise Weitergabe in wesentlich stärkerem Umfang als bei Werkstattfertigung die Durchlaufzeiten und die Leerzeiten erhöhen. Deshalb bildet die Möglichkeit einer Weitergabe von Teillosen eine wichtige Handlungsvariable bei der Strukturierung des Produktionsablaufs.

Das Produktionsmodell der Werkstattfließfertigung kann auf der Basis des im vorhergehenden Abschnitt dargestellten Modells der Werkstattfertigung entwickelt werden. Wie in diesem werden lediglich die Transportprozesse zwischen den Werkstätten explizit abgebildet. Transporte innerhalb der Werkstätten werden näherungsweise durch eine Verweilzeit von einem Intervall zwischen Fertigstellung und Wiedereinsatz berücksichtigt⁶. Die Intervalldauer δt wird als Konstante vorgegeben.

⁴ Die Fertigung ist im Normalfall markt- und nicht kundenorientiert. Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 321.

⁵ Bei Werkstattfließfertigung sind die Produktiveinheiten nicht wie bei den meisten Formen der Fließfertigung durch ein festes Transportsystem verbunden.

⁶ Ob eine derartige zeitliche Verzögerung berechtigt ist, hängt von dem Verhältnis zwischen Intervalldauer, Art der Weitergabe und Transportdauer innerhalb der Werkstätten ab.

Die Struktur des Produktionsmodells ist aus mehreren Gründen einfacher als bei Werkstattfertigung. Man kann unterstellen, daß jeder Werkstatt w eine bestimmte Anzahl N_w von Transportmitteln zur Verfügung steht, die lediglich für den Transport zur nächsten Werkstatt $w + 1$ eingesetzt werden. Dann kommen keine ‚Rundreisen‘ der Transportmittel vor. Eine Rückführung unbeladener Transportmittel ist bei identischer Werkstattfolge nicht vermeidbar. Ferner ist der Objektfluß wenig komplex. Im folgenden wird davon ausgegangen, daß sich eine Konvergenz des Objektflusses lediglich auf eine Vereinigung mehrerer Rohstoffarten im jeweils ersten Arbeitsgang beschränkt. Für die Weiterverarbeitung der Zwischenprodukte wird unterstellt, daß bei glattem Objektfluß die Produktionskoeffizienten des Zwischenprodukteinsatzes gleich Eins sind. Deshalb kann jede erzeugte Zwischen- und Endproduktart durch einen Fertigprodukt- oder Produkttypindex h und einen Stufen- oder Arbeitsgangindex g bezeichnet werden⁷. Die Operationenfolge eines jeden Produkttyps h wird als technisch vorgegeben unterstellt. Jeder Arbeitsgang g des Produkts h findet in einer bestimmten Werkstatt w statt. Somit sind die Indices g den Indices w bei jedem Fertigprodukttyp h eindeutig zugeordnet. Sie lassen sich aber nicht gleichsetzen, weil innerhalb einer Werkstatt mehrere aufeinander folgende Arbeitsgänge durchführbar sein können. Wegen der fertigungswirtschaftlichen Verwandtschaft der Produkte kann man annehmen, daß die Rüstzeiten reihenfolgeabhängig sind. Hierdurch erhöht sich die Komplexität des Modells.

Die Durchführung eines Transportprozesses von der Werkstatt w zur nächsten Werkstatt $w + 1$ mit dem n-ten der in w stationierten Transportmittel kann durch die binäre Zuordnungsvariable z_{nw}^t abgebildet werden. Deren Wertebereich wird wie folgt festgelegt:

$$z_{nw}^t = \begin{cases} 1, & \text{sofern das } n\text{-te Transportmittel der Werkstatt } w \text{ im Intervall } t \text{ einen} \\ & \text{Transport von der Werkstatt } w \text{ zur nächsten Werkstatt } w + 1 \text{ beginnt} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Nach der Ankunft in Werkstatt $w + 1$ muß das Transportmittel leer nach w zurückgeführt werden. Beträgt die Transportdauer von w nach $w + 1$ insgesamt θ_{nw} Intervalle, so kann dieses Transportmittel innerhalb von $2 \cdot \theta_{nw}$ Intervallen höchstens einen Transport ausführen. Also gelten die Nebenbedingungen C.131:

$$\sum_{\kappa=0}^{2 \cdot \theta_{nw}-1} z_{nw}^{t+\kappa} \leq 1 \quad \text{für alle } n, w, t \quad (\text{C.131})$$

⁷ Diese Art der Produktbezeichnung wird verwendet bei Jacob [Produktionsplanung] 248 ff.; Adam [Produktionsplanung] 156 ff.; Pressmar [Modelle] 467; Schüler [Anlagen-einsatz] 395 ff.

Durch C.131 wird zusammen mit den Nichtnegativitäts- und Ganzzahligkeitsbedingungen C.132

$$z_{nw}^t \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \text{für alle } n, w, t \quad (\text{C.132})$$

der Wertebereich dieser Zuordnungsvariablen begrenzt.

Die Transportmengenvariable p_{hnw}^t gibt an, welche Produktmenge⁸ des Produkts h im Intervall t zum Transport mit dem n-ten Transportmittel der Werkstatt w gegeben wird. Jede Produkteinheit des h-ten Produkttyps beansprucht w_{hnw} Kapazitätseinheiten dieses Transportmittels. Dessen Gesamtkapazität beträgt Q_{nw} Einheiten. Die Kapazitätsbeschränkungen der Transportmittel sowie die Beziehungen zwischen Transportmengen- und Zuordnungsvariablen können daher durch die Nebenbedingungen C.133 ausgedrückt werden:

$$\sum_h w_{hnw} \cdot p_{hnw}^t \leq z_{nw}^t \cdot Q_{nw} \quad \text{für alle } n, w, t \quad (\text{C.133})$$

Wie bei Werkstattfertigung⁹ sind Produktgleichungen für die noch nicht beförderten und die schon zur nächsten Werkstatt beförderten Zwischenprodukte zu unterscheiden. Die in Werkstatt w erzeugten und dort am Ende von t gelagerten Produkte werden durch die Variablen l_{hgw}^t erfaßt, während $l_{hgw,w+1}^t$ den Lagerendbestand der gleichen Produktart hg angibt, soweit die Produkte schon zur nächsten Werkstatt befördert worden sind. Unter Verwendung derselben Bezeichnungen für die Variablen und Indices wie im vorhergehenden Abschnitt d sowie der neu eingeführten Indices h bzw. $h' = 1, \dots, H$ für die Produkttypen und g für die Arbeitsgänge anstelle der Produktindices p bzw. q erhält man die Produktgleichungen C.134 der in Werkstatt w erzeugten und dort gelagerten Produkte:

$$\begin{aligned} l_{hgw}^t &= l_{hgw}^{t-1} + \sum_{m,\delta} (z_{hgwm\delta}^t - \sum_{h'=1}^H \frac{h' \cdot h_{hgwm\delta}}{\bar{d}^t} \cdot u_{h'hgwm\delta}^t - v_{hgwm\delta}^t) \cdot \psi_{hgwm\delta} \cdot p_{hgwm\delta} \cdot \bar{d}^t \\ &- \sum_{m,\delta} (z_{h,g+1,wm\delta}^{t+1} - \sum_{h'=1}^H \frac{h' \cdot h_{h,g+1,wm\delta}}{\bar{d}^t} \cdot u_{h'h,g+1,wm\delta}^{t+1} - v_{h,g+1,wm\delta}^{t+1}) \cdot \phi_{h,g+1,wm\delta} \cdot \bar{d}^t \\ &- \sum_n p_{hnw}^{t+1} - x_{hg}^{t+1} \end{aligned} \quad \text{für alle } h, g, t \quad (\text{C.134})$$

Durch die vorgegebenen Operationenfolgen liegt eindeutig fest, ob eine (Zwischen-)Produktart hg in derselben Werkstatt weiterverarbeitet oder zur nächsten Werkstatt transportiert wird. Das letzte Glied in Gleichung C.134 für die Absatzmengen ist im Normalfall lediglich im letzten Arbeitsgang größer als Null. Für die in Werkstatt w erzeugten und zur nächsten Werkstatt beförderten Produkte ergeben sich Produktgleichungen der Art C.135

⁸ Auf den Index g kann hier verzichtet werden, da nur von einem Arbeitsgang g aus ein Transport zur nächsten Werkstatt erfolgt.

⁹ Vgl. Seite 220 ff.

$$z_{haw, w+1}^t = z_{haw, w+1}^{t-1} + \sum_n p_{hnw}^{t-\theta} n_w$$

$$- \sum_{m, \delta} (z_{h, g+1, w+1, m\delta}^{t+1} - \sum_{h'=1}^H \frac{h' h, g+1, w+1, m\delta \cdot u_{h'h, g+1, w+1, m\delta}^{t+1}}{\bar{d}^t} - v_{h, g+1, w+1, m\delta}^{t+1}) \cdot p_{h, g+1, w+1, m\delta} \cdot \bar{d}^t$$

für alle h, g, w, t (C.135)

Ferner gelten entsprechend dem Grundansatz C.73 des Produktionsmengenmodells die Nebenbedingungen C.136a bis e:

$$z_{hgwm\delta}^t \quad \text{ganzzahlig} \quad \text{für alle } h, g, m, \delta, t \quad (\text{C.136a})$$

$$\sum_{h, g, \delta} z_{hgwm\delta}^t \leq 1 \quad \text{für alle } w, m, t \quad (\text{C.136b})$$

$$u_{h, hgwm\delta}^t \geq \sum_{\delta} z_{h'g'wm\delta}^{t-1} + z_{hgwm\delta}^t - 1 \quad \begin{matrix} h', h=1, \dots, H; \\ \text{für alle } g, m, \delta, t \end{matrix} \quad (\text{C.136c})$$

$$v_{hgwm\delta}^t \leq z_{hgwm\delta}^t - \sum_{h'=1}^H \frac{h' h, hgwm}{\bar{d}^t} \cdot u_{h' hgwm\delta}^t \quad \text{für alle } h, g, m, \delta, t \quad (\text{C.136d})$$

$$z_{hgwm\delta}^t, x_{h'}^t, l_{h'g'}^t, l_{h'g'wm\delta}^t, v_{hgwm\delta}^t \geq 0 \quad \begin{matrix} h', h=1, \dots, H; \\ \text{für alle } g, w, m, \delta, t \end{matrix} \quad (\text{C.136e})$$

Ein Kennzeichen der Gleichungen für die Rohstoffe besteht darin, daß die Rohstoffe lediglich in den ersten Arbeitsgängen $g = 1$ sämtlicher Produkttypen $h = 1, \dots, H$ sowie in der ersten Werkstatt $w = 1$ eingesetzt werden. Daher gibt der Produktionskoeffizient α_{rh}^1 die Einsatzmenge des r-ten Rohstoffes je Einheit des h-ten Produkttyps in dessen erstem Arbeitsgang an. Wenn e_r^t , x_r^t und l_r^t wiederum die Beschaffungs-, Absatz- und Lagerendbestandsmengen des r-ten Rohstoffes im Intervall t bezeichnen, lauten die Gleichungen der Rohstoffe:

$$e_r^t = \sum_h \alpha_{rh}^1 \sum_{m, \delta} (z_{h11m\delta}^{t+1} - \sum_{h'=1}^H \frac{h' h11m}{\bar{d}^t} \cdot u_{h' h11m\delta}^{t+1} - v_{h11m\delta}^{t+1}) \cdot p_{h11m\delta} \cdot \bar{d}^t$$

$$+ x_r^{t+1} + l_r^t - l_r^{t-1}$$

(C.137)

Betriebsstoffe können in den Produktiveinheiten und Transportmitteln sämtlicher Werkstätten eingesetzt werden. Daher weisen ihre Gleichungen ebenso wie die Einsatzfunktionen der menschlichen und maschinellen Arbeit keine Besonderheiten gegenüber dem Produktionsmodell bei Werkstattfertigung auf. In den Beziehungen C.125 bis C.130¹⁰ sind lediglich die Produktartenindizes p durch die Produkttypen- und Arbeitsgangindizes hg sowie die Zuordnungsvariablen der Transportprozesse z_{nww}^t durch z_{nw}^t zu ersetzen. Ferner ist die Erweiterung der Umrüstvariablen und der Rüstzeiten auf reihenfolge-abhängige Rüstprozesse zu berücksichtigen.

¹⁰ Vgl. Seite 224 ff.

Die Zahl der Variablen und Nebenbedingungen des Produktionsmodells bei Werkstattfließfertigung ist in Abbildung 29¹¹ zusammengestellt. Sie ist aus vier Gründen deutlich geringer als bei Werkstattfertigung. Bei diesem Organisationstyp wird *erstens* eine geringere Zahl von Endproduktarten hergestellt. *Zweitens* ist die Zahl der Zwischenproduktarten bei glattem (oder schwach konvergierendem) Objektfluß nicht sehr hoch. Durch die identischen Werkstattfolgen gibt es *drittens* eine geringere Zahl von Transportwegen und Transortalternativen. Schließlich bewirkt *viertens* die Fertigung in größeren Losen, daß die Intervalldauer d^t länger (und damit die vorzugebende Intervallzahl T niedriger) gewählt werden kann. Andererseits sind die Strukturierungsprobleme des Produktionsprozesses deutlich komplexer als bei Fließfertigung, weil die Operationen- sowie die Maschinenfolgen der Stückprozesse nicht völlig übereinstimmen und eine größere Zahl alternativer Arbeitsverteilungen, Gangfolgen und Transportmöglichkeiten besteht.

f) Struktur der produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen bei Fließinsel-fertigung

Bei Fließinselfertigung sind Teilbereiche der Fertigung einerseits zu Werkstätten und andererseits zu Fertigungsstraßen zusammengefaßt. Die Interdependenzen der Strukturierungstatbestände dieser verschiedenartig organisierten Bereiche sind um so größer, je mehr Produkte während ihrer Erzeugung beide Bereiche durchlaufen müssen. Typische Anwendungsfälle der Fließinselfertigung liegen vor, wenn entweder Einzelteile und Baugruppen in Werkstätten erzeugt und auf Fertigungsstraßen zu Endprodukten montiert werden oder umgekehrt die Einzelteile auf Fertigungsstraßen hergestellt und in Werkstätten zu Baugruppen und Endprodukten weiterverarbeitet werden¹.

Der zuletzt genannte Fall wird im folgenden als Beispiel analysiert. Entsprechend Abbildung 34 werden auf jeder der Fertigungsstraßen $s = 1, \dots, S$ Produkte erzeugt, deren Operationen- und Maschinenfolgen weithin übereinstimmen. Dabei kann es sich um Teile handeln, die in Massen- oder Großserienfertigung oder als Teilefamilien hergestellt werden. Teilefamilien werden durch „... die Zusammenfassung von technologisch ähnlichen Teilen etwa gleicher Größenordnung zu Additiv- oder Scheinserien ...“² gebildet. Verschiedenartige Teile mit hoher fertigungswirtschaftlicher Verwandtschaft³ werden als eine Serie behandelt, auch wenn bei einzelnen Teilearten bestimmte Arbeitsgänge

¹¹ Vgl. Seite 202.

¹ Vgl. Ohse [Probleme] 636 und 646 f.; Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 289 ff.; Eversheim [Fertigungsplanung] 82; Pilipp [Produktionssysteme] 634.

² Eversheim [Fertigungsplanung] 79. Vgl. hierzu Opitz [Teilefamilienfertigung] 101 ff.

³ Opitz [Teilefamilienfertigung] 101.

übersprungen oder zusätzlich Einzeloperationen durchgeführt werden müssen⁴. Man kann davon ausgehen, daß die auf den Fertigungsstraßen erzeugten Teile in ein Teilelager gelangen und von dort aus zum Einsatz in die Werkstätten befördert werden. In den Werkstätten werden sie unter Verwendung weiterer Rohstoffe sowie von Teilen, die in den Werkstätten hergestellt werden, zu Baugruppen und Endprodukten weiterverarbeitet.

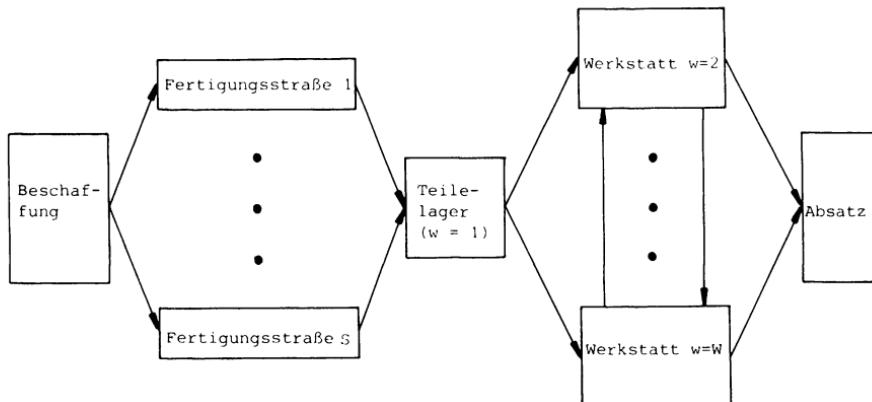


Abb. 34: Beispiel für die Struktur einer Fließinselfertigung

Die Fließinselfertigung umfaßt Teilbereiche, die in bezug auf den Organisations-, Programm- und Vergenztyp unterschiedlich strukturiert sind. Auf den Fertigungsstraßen werden in der Regel Teile in Massenfertigung oder großen Serien in offener Produktion hergestellt. Die Anzahl hergestellter Teilearten ist begrenzt. Dabei ist man bestrebt, einen hohen Grad an Leistungsabstimmung zwischen den Produktiveinheiten einer Straße zu erreichen. Innerhalb bestimmter Intervalle vollzieht sich der Fertigungsprozeß auf den Fertigungsstraßen weithin stationär. Die Stückprozesse der Teile sind weitgehend glatt. So weit sie eine Konvergenz des Objektflusses enthalten, bezieht sich diese vorwiegend auf den Zusammenbau von Roh- und Hilfsstoffen.

In den Werkstätten wird durch unterschiedliche Kombination der Teile mit Rohstoffen sowie in den Werkstätten hergestellten Zwischenprodukten eine Vielzahl von Endproduktarten erzeugt. Der Objektfluß ist in den Werkstätten vielfach sehr komplex, wobei konvergierende Teilprozesse vorherrschen⁵. Die Produktarten durchlaufen die Werkstätten sowie gegebenenfalls mehrere Produktiveinheiten innerhalb der Werkstätten in unterschiedlicher Reihenfolge. Da die Absatzmengen je Endproduktart häufig niedrig sind, erfolgt die Fertigung in den Werkstätten in kleinen Losen. Im Gegensatz zu den Fertigungsstra-

⁴ Vgl. Eversheim [Fertigungsplanung] 81 ff.

⁵ Vgl. Große-Oetringhaus [Fertigungstypologie] 290 f.

ßen müssen die Produktiveinheiten der Werkstätten daher in kurzen Zeitabständen umgerüstet werden. Wegen der unterschiedlichen Operationenfolgen, der kleinen Lose und der längeren Transportwege werden die Lose in den Werkstätten geschlossen zum nächsten Arbeitsgang weitergegeben. Aus diesen Gründen sind die Warte- und die Durchlaufzeiten der Produkte in den Werkstätten länger.

Da sich in den Werkstätten weithin funktionsgleiche Produktiveinheiten befinden, ist die Zahl möglicher Arbeitsverteilungen in diesem Teilbereich der Fertigung wesentlich größer als auf den Fertigungsstraßen. Auch die Zahl der Gangfolgealternativen ist in den Werkstätten deutlich höher. Durch diese umfangreiche Alternativenmenge ist die Strukturierung des Fertigungsprozesses in den Werkstätten komplizierter als im Bereich der Fertigungsstraßen.

Die Herstellung der Endprodukte erfolgt meist kundenorientiert. Deshalb gewinnt die Einhaltung zugesagter Termine eine wichtige Bedeutung als Ziel der Fertigungssteuerung. Längerfristige Absatzprognosen sind nur beschränkt und mit geringerem Präzisionsgrad möglich.

Das charakteristische Strukturierungsproblem der Fließinsel-fertigung besteht in der Abstimmung der Fließ- mit der Werkstattfertigung. Die produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen dieses Organisationstyps lassen sich formal durch ein Produktionsmodell abbilden, das ein Teilmодell der Fließfertigung mit einem Teilmодell der Werkstattfertigung kombiniert. Dieses Produktionsmodell lässt sich ohne weiteres durch Vereinigung des in den Beziehungen C.103 bis C.109⁶ formulierten Produktionsmodells der Fließfertigung für die Fertigungsstraßen $s = 1, \dots, S$ mit dem in den Beziehungen C.116 bis C.130⁷ formulierten Produktionsmodell der Werkstattfertigung entwickeln. Eine Wiedergabe sämtlicher Gleichungen dieser Teilmodelle erscheint nicht erforderlich. Vielmehr sind die charakteristischen Merkmale herauszuarbeiten, die sich aus ihrer Verbindung ergeben.

Bei dem in Abbildung 34 dargestellten Typ einer Fließinsel-fertigung wird die Verbindung der Fließinseln zu den Werkstätten über die Güterbewegungen des Teilelagers hergestellt. Geht man davon aus, daß sich der Standort des Teilelagers unmittelbar am Ende der Fertigungsstraßen befindet, so können die Transportprozesse zwischen den Fertigungsstraßen und diesem Lager vernachlässigt werden. Dagegen werden die Transporte zwischen dem Teilelager und den Werkstätten explizit erfaßt. Zur Vereinfachung der Modelldarstellung wird dem Teilelager der Index $w = 1$ zugeordnet. Die auf den Fertigungsstraßen hergestellten Teilearten werden mit dem Index \hat{p} und die in den $w = 2, \dots, W$ Werkstätten erzeugten Zwischen- und Endprodukte mit den Indices p bzw. q

⁶ Vgl. Seite 201 ff. Sofern bei den Fertigungslinien kein hoher Grad an Leistungsabstimmung vorliegt, ist stattdessen das in den Beziehungen C.110 bis C.115 entwickelte Produktionsmodell der zeitlich nicht abgestimmten Fließfertigung zugrunde zu legen.

⁷ Vgl. Seite 219 ff.

bezeichnet. Die Transportmengenvariable $p_{\hat{p}1nw}^t$ gibt die Menge der Teileart \hat{p} an, deren Transport vom Teilelager ($w = 1$) zur Werkstatt w' mit dem n-ten Transportmittel im Intervall t begonnen wird.

Die Güterbewegungen des Teilelagers können durch Produktgleichungen der auf den Fertigungsstraßen erzeugten Produkte \hat{p} erfaßt werden. Sofern $p_{\hat{p}}^t$ die Menge der Teileart \hat{p} angibt, die in t fertiggestellt wird und in das Teilelager gelangt, ergibt sich der Lagerendbestand $l_{\hat{p}}^t$ dieser Teileart entsprechend Gleichung C.138:

$$l_{\hat{p}}^t = l_{\hat{p}}^{t-1} + p_{\hat{p}}^t - \sum_n \sum_{w'=2}^W p_{\hat{p}1nw}^t \quad \text{für alle } p, t \quad (\text{C.138})$$

Dabei ist unterstellt, daß die Teile nur für den Transport zu den Werkstätten und nicht zum Absatz vom Lager abgehen. Für die Herstellungsmengen $p_{\hat{p}}^t$ der Teilearten gelten die Beziehungen C.103 bis C.105 des Produktionsmodells der zeitlich abgestimmten Fließfertigung, wobei der Index p stets durch den Index \hat{p} zu ersetzen ist.

Die Lagerabgangsmenge $p_{\hat{p}1nw}^t$ kann höchstens dann größer als Null sein, wenn das n-te Transportmittel im Intervall t einen Transport vom Teilelager zur Werkstatt w' beginnt. Entsprechend C.118⁸ wird diese Beziehung durch die Nebenbedingungen C.139 erfaßt, in denen z_{n1w}^t die binär definierten Zuordnungsvariablen für Transportprozesse, Ω_n die Transportkapazität des n-ten Transportmittels und $\omega_{\hat{p}1n}$ die durch eine Produkteinheit von \hat{p} beanspruchte Transportkapazität angeben:

$$\sum_w \omega_{\hat{p}1n} p_{\hat{p}1nw}^t \leq z_{n1w}^t \cdot \Omega_n \quad \begin{matrix} w' = 2, \dots, W; \\ \text{für alle } n, t \end{matrix} \quad (\text{C.139})$$

Der Teilebedarf in den Werkstätten wird durch Produktgleichungen für die Teilearten abgebildet, die auf den Fertigungsstraßen hergestellt und schon zu den Werkstätten befördert worden sind. Diese Gleichungen können entsprechend den Gleichungen C.121 der Werkstattfertigung entwickelt werden. Gegenüber den Gleichungen der Werkstattfertigung müssen zusätzlich die Produktionskoeffizienten α_{pqw}^t für die Einsatzmenge der \hat{p} -ten Teileart je Einheit der in Werkstatt w' hergestellten Zwischen- oder Endproduktart qw' eingeführt werden. Mit l_{pw}^t wird der Lagerendbestand der nach Werkstatt w' beförderten Teileart \hat{p} im Intervall t und mit p_{qw}^t die Herstellungsmenge der q -ten Produktart von Werkstatt w' in t bezeichnet. Beträgt die Transportdauer vom Teilelager zur Werkstatt w' mit dem n-ten Transportmittel Ω_{n1w} Zeitintervalle, so erhält man für die in Werkstatt w' gelagerte Teileart \hat{p} Produktgleichungen der Art C.140:

⁸ Vgl. Seite 220.

$$\hat{p}_{pw}^t = \hat{p}_{pw}^{t-1} + \sum_n p_{pnw}^{t-\theta} n_{1w} - \sum_{q=1}^P \alpha_q \hat{p}_{qw}^1 \cdot p_{qw}^{t+1}$$

$t=1, \dots, T; \text{ für alle } \hat{p}, w$

(C.140)

Die weiteren Beziehungen C.116 bis C.122 des Modells der Werkstattfertigung können unmittelbar übernommen werden. Ferner ist zu beachten, daß sich der Gesamtbedarf an Rohstoffen, Betriebsstoffen, menschlicher und maschineller Arbeit additiv aus dem Bedarf der Fertigungsstraßen gemäß den Gleichungen C.106 bis C.109 und dem Bedarf der Werkstätten sowie Transportmittel gemäß den Gleichungen C.123 bis C.130 zusammensetzt.

Die über die Beziehungen C.138 bis C.140 miteinander verbundenen Teilmodelle des Produktionsmodells der Fließinselproduktion unterscheiden sich in wichtigen Merkmalen. Das Teilmodell der Werkstätten weist durch die zahlreichen (Zwischen- und End-)Produktarten, Arbeitsverteilungs- und Gangfolgealternativen sowie die explizite Erfassung der Transportprozesse zwischen den Werkstätten eine sehr große Zahl an Variablen und Nebenbedingungen auf⁹. Ferner müssen wegen der kleinen Lose die Intervalldauern kurz gewählt werden. Demgegenüber ist die Zahl der Variablen und Nebenbedingungen im Teilmodell der Fertigungsstraßen wesentlich geringer. In diesen verschieden ausgeprägten Merkmalen der Teilmodelle kommen die Unterschiede in Art und Umfang der jeweiligen Strukturierungsprobleme zum Ausdruck. Da die Fertigung in den Werkstätten kundenorientiert erfolgt, muß sie anpassungsfähig gegenüber Markteinflüssen sein. Deshalb wird man sie meist auf recht kurze Sicht steuern. Dagegen setzt eine auf längere Sicht ausgerichtete Planung der Fertigungsstraßen längerfristige Erwartungen über den Teilebedarf voraus.

Die Entwicklung der Lagerabgänge des Teilelagers hängt von den Fertigungsprozessen der Werkstätten ab. Deren Teilebedarf bildet eine wichtige Bestimmungsgröße für die Losgrößen- und Reihenfolgeentscheidungen bei den Fertigungsstraßen. Andererseits sind die am Teilelager vorhandenen Produktmengen eine wichtige Bestimmungsgröße für die in den Werkstätten herstellbaren Produktarten und -mengen. Die präzise Erfassung der Interdependenzen zwischen beiden Teilbereichen erfordert ihre simultane Planung. Für das beschriebene Produktionsmodell bedeutet dies, daß die sehr tiefgehende Intervalleinteilung des Werkstättenmodells auch auf das Modell der Fließfertigung zu übertragen ist. Hierdurch steigt der Planungsumfang in diesem Bereich stark an. Damit wirkt sich der Tatbestand, daß Absatz und Fertigung der Endprodukte innerhalb der Werkstätten in kleinen Mengen erfolgen und starken Schwankungen im Zeitablauf unterliegen können, auch auf die Abbildung und Planung der Fertigungsstraßen aus.

⁹ Vgl. die Aufstellung für Werkstattfertigung in Abbildung 29 auf Seite 202.

Eine simultane Planung der beiden Teilbereiche der Fließinselproduktion erweist sich somit als äußerst schwierig. Deshalb ist zu prüfen, inwieweit diese Bereiche isoliert geplant werden können. Eine Unternehmung wird nur die Teile in Fließfertigung herstellen, die in großen Mengen benötigt werden. Diese Voraussetzung ist erfüllt, wenn gleichartige Teile in eine Vielzahl verschiedener Endproduktarten eingehen. Dann ist aber der Teilebedarf in der Regel wesentlich geringeren Schwankungen als das Fertigungs- und Absatzprogramm der Werkstätten unterworfen. Deshalb erscheint es möglich, die mengenmäßige und zeitliche Entwicklung des Teilebedarfs für einen mittleren Zeitraum zu prognostizieren. Abweichungen zwischen dem bei dieser Prognose zugrunde gelegten und dem tatsächlichen Absatzprogramm der Endprodukte werden sich im Hinblick auf den Teilebedarf zumindest teilweise ausgleichen, wenn für die verschiedenen Endproduktarten dieselben Teile erforderlich sind. Auf der Grundlage einer solchen Prognose des Teilebedarfs können die Fertigungsstraßen isoliert geplant werden. Die Prognosen müssen jedoch laufend auf ihre Geltung überprüft werden. Weicht der tatsächliche Teilebedarf aufgrund geänderter Absatzdaten vom erwarteten signifikant ab, so sind Planrevisionen durchzuführen.

Durch die Verbindung von Fließfertigung und Werkstattfertigung lassen sich einerseits bei einzelnen Produktarten die Vorteile der Fließfertigung ausnutzen. Andererseits beinhaltet dieser Organisationstyp das Risiko kurzfristiger und vermehrter Umrüstungen der Fertigungsstraßen, erhöhter Teilelagerbestände sowie des Veraltens von Teilen bei Planrevisionen. Maßgeblich für den Organisationstyp der Fließinselproduktion ist daher, inwieweit trotz eines breit gestreuten Absatzprogramms mit niedrigen Absatzmengen je Produktart einzelne Teile in großen Mengen benötigt werden und ihr Bedarf mit ausreichender Sicherheit prognostiziert werden kann.

g) Problematik der theoretischen Erfassung neuer Formen der Arbeitsstrukturierung

In den vergangenen Jahren sind in verschiedenen Ländern und Unternehmungen¹ Versuche durchgeführt worden, die Fließbandfertigung durch neue Formen der Arbeitsstrukturierung zu ersetzen². Dabei steht das Bemühen im Vordergrund, nachteilige Auswirkungen der taktierten Fließfertigung für die

¹ Zum Überblick vgl. Berg/Mazurczak [Arbeitsgruppen] 190 ff.; Bihl [Mitbestimmung] 17 ff.; Emery/Thorsrud [Democracy]; Hahn/Link [Arbeitsfeldstrukturierung] 65 ff.; Lattmann [Arbeitsgruppe] 24 ff.; Rühl [Arbeitsstrukturierung] 183 ff.

² Als wichtigste Formen können die Arbeitserweiterung (Job Enlargement), rotierender Arbeitsplatzwechsel (Job Rotation), Arbeitsbereicherung (Job Enrichment) und selbststeuernde Gruppe unterschieden werden. Vgl. Ulich/Groskurth/Bruggemann [Arbeitsgestaltung] 64 ff.; Kupsch [Job Enlargement] 1077 ff.; Reisch [Job Enrichment] 1083 ff.

Arbeitskräfte aufzuheben. Den höchsten Grad an Veränderung bringt die Einführung „selbststeuernder (autonomer) Gruppen“. An die Stelle eines Fließbandes bzw. einzelner Fließinseln treten bei dieser Organisationsform Kleingruppen von Arbeitskräften, die mit Hilfe der ihnen zur Verfügung stehenden Arbeitsmittel bestimmte Produkte oder Teile selbstständig herstellen. Über die Zuordnung der einzelnen Arbeitskräfte zu den maschinellen Anlagen, die Abgrenzung der Arbeitsgänge, die Arbeitsverteilung, Losgrößen, Leistungsbestimmung und Gangfolgen sowie teilweise über die täglichen Arbeitszeiten und die Auswahl ihrer Mitarbeiter entscheiden die Gruppen selbstständig³.

Die Auswirkungen einer Einführung selbststeuernder Gruppen lassen sich mit den in dieser Arbeit entwickelten Produktionsmodellen höchstens unvollständig erfassen. Durch das formulierte produktions- und organisationstheoretische Aussagensystem werden die Möglichkeiten der Arbeitsverteilung, Leistungsbestimmung, Losgrößen- und Gangfolgenfestlegung sowie deren Konsequenzen für Gütereinsatz und -ausbringung abgebildet. Es liefert damit eine Grundlage für die Strukturierung dieser Tatbestände. Dagegen müssen aus einem Hypothesensystem über selbststeuernde Gruppen Prognosen ableitbar sein, wie diese Entscheidungen von den Gruppen getroffen werden und welchen Einfluß die Entscheidungsdezentralisation auf Gütereinsatz sowie Güterausbringung hat. Die bisher vorliegenden empirischen Ergebnisse erscheinen für die Formulierung eines solchen Hypothesensystems noch nicht ausreichend⁴.

Bei den durchgeführten Versuchen mit selbststeuernden Gruppen sind häufig eine Verminderung der Ausschußquoten sowie der Fehlzeiten von Arbeitskräften und eine Verbesserung der Produktqualität beobachtet worden⁵. Ferner ist in einer Reihe von Fällen eine Steigerung der Produktionsleistung eingetreten⁶. Jedoch können auch Schwierigkeiten in der Materialbereitstellung entstehen⁷.

Weitere Konsequenzen der Einführung selbststeuernder Gruppen können die Qualifikation und die Anzahl benötigter Arbeitskräfte, die Leistungsfähigkeit und Anzahl maschiner Anlagen, das Führungssystem der Unterneh-

³ Bihl [Mitbestimmung] 40; Lattmann [Arbeitsgruppe] 20 f.; Ulich/Groskurth/Bruggemann [Arbeitsgestaltung] 74 ff. und 88.

⁴ Vgl. Pfeiffer/Staudt [Konsequenzen] 137; Rühl [Arbeitsstrukturierung] 195 f.; Ulich [Arbeitsstrukturierung] 193 und 195. Vgl. ferner die kritischen Hinweise bei Dörken [Arbeitsstrukturierung] 167; Lattmann [Arbeitsgruppe] 40 f.; Robens [Arbeitsgruppen] 255 ff.; Shinoda [Monotonie] 469 f.

⁵ Rühl [Arbeitsstrukturierung] 193; Ulich [Aufgabenerweiterung] 356; Ulich/Groskurth/Bruggemann [Arbeitsgestaltung] 71 ff. und 80 ff. Vgl. auch Pfeiffer/Staudt [Arbeitsorganisation] 22.

⁶ Bihl [Mitbestimmung] 41 f.; Lattmann [Arbeitsgruppe] 54; Ulich/Groskurth/Bruggemann [Arbeitsgestaltung] 86; Pfeiffer/Staudt [Arbeitsorganisation] 20; vgl. aber auch Ulich [Arbeitsstrukturierung] 193.

⁷ Vgl. die Hinweise von Pfeiffer/Staudt [Arbeitsorganisation] 23 sowie Rühl [Arbeitsstrukturierung] 196.

mung sowie die Zufriedenheit der Mitarbeiter betreffen. Die Arbeitserweiterung und die Übernahme von Entscheidungs- sowie Kontrollaufgaben durch die Gruppen hat einerseits häufig zur Folge, daß die Qualifikation der Arbeitskräfte gesteigert werden muß. Andererseits verringert sich der Bedarf an Springern, Aufsichtskräften und Meistern. Damit wird das Führungssystem der Unternehmung verändert⁸. Ferner erfordert das Bestreben, erweiterte Tätigkeitsbereiche mit Entscheidungs- und Kontrollaufgaben zu schaffen, in einer Reihe von Fällen den Einsatz zusätzlicher oder höher automatisierter Anlagen. Aus diesem Grund kann die Einführung einer der neuen Arbeitsformen die Investitionskosten erhöhen⁹. Darüber hinaus werden wichtige Vorteile dieser Arbeitsformen in einer Verminderung der Fluktuationsraten¹⁰ und vor allem in einer Erhöhung der Arbeitszufriedenheit gesehen¹¹.

Die Abbildung eines mit selbststeuernden Gruppen organisierten Produktionsprozesses erfordert die Formulierung eines umfassenden theoretischen Aussagensystems. Dies erscheint beim gegenwärtigen Entwicklungsstand nicht erreichbar, weil die bisher eingeführten neuen Arbeitsformen unterschiedlich gestaltet, die empirischen Ergebnisse noch nicht durch genügende Beobachtungen gesichert sind und zum Teil deutlich voneinander abweichen.

⁸ Vgl. Pfeiffer/Staudt [Arbeitsorganisation] 14 f.; Ulich/Groskurth/Bruggemann [Arbeitsgestaltung] 88; vgl. auch Lattmann [Arbeitsgruppe] 55.

⁹ Vgl. Krieg [Arbeitsgruppen] 8; Pfeiffer/Staudt [Arbeitsorganisation] 20 f.; Rühl [Arbeitsstrukturierung] 196.

¹⁰ Rühl [Arbeitsstrukturierung] 193; Ulich/Groskurth/Bruggemann [Arbeitsgestaltung] 76 und 86.

¹¹ Bihl [Mitbestimmung] 41 ff.; Lattmann [Arbeitsgruppe] 54 f.; Rühl [Arbeitsstrukturierung] 195; Ulich/Groskurth/Bruggemann [Arbeitsgestaltung] 76 und 86.

D. Interdependenzen zwischen produktionstheoretischen und organisatorischen Tatbeständen bei veränderlicher Struktur der Produktiveinheiten

Die Anzahl und die Zusammensetzung der verfügbaren Produktiveinheiten werden in der Realität durch Arbeitnehmerkündigungen, Krankheits- und Störungsausfälle sowie Entscheidungen der Unternehmungen häufig verändert. Deshalb ist zu untersuchen, wie die Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung sowie die Organisation des Produktionsprozesses von Änderungen in der Struktur der Produktiveinheiten beeinflußt werden.

I. Bestimmungsgrößen für die Bildung von Produktiveinheiten

Maßgebliche Tatbestände bei der Bildung von Produktiveinheiten sind die Entscheidungen über den Bestand an Arbeitskräften und maschinellen Anlagen bzw. sonstigen Arbeitsmitteln sowie über ihre gegenseitige Zuordnung. Dieser Strukturierungsvorgang umfaßt Entscheidungstatbestände, die einerseits zur Investitions- sowie zur Personalausstattungsplanung¹ und andererseits zur Personaleinsatzplanung gerechnet werden.

Der in einer Periode verfügbare Bestand an *maschinellen Anlagen* hängt vom Anlagenbestand der Vorperiode sowie den Entscheidungen über Verkauf bzw. Stilllegung dieser Anlagen und die Anschaffung neuer Anlagen ab. Seine Einsatzbarkeit wird durch störungsbedingte Maschinenausfälle sowie durch Entscheidungen über (vorbeugende) Reparaturmaßnahmen² beeinflußt. Die Maschinenausfälle sind insbesondere vom Anlagentyp, dem Anlagenalter, ihrer bisherigen Beanspruchung und der Ersatzteilpolitik bestimmt. Meist wird angenommen, daß sich die Maschinenausfälle anhand statistischer Verteilungen erfassen und prognostizieren lassen³.

Grundlegend für die Anschaffung und den Verkauf von Anlagen ist die Kenntnis der Investitionsmöglichkeiten. Häufig wird in Investitionsmodellen unterstellt, daß die technische Leistungsfähigkeit und die mögliche Nutzungs-

¹ Zu diesem Begriff vgl. Kossbiel [Personalplanung] 8.

² Vgl. Bussmann/Kress/Kuhn [Strategien] 31 f.; Mertens [Instandhaltungstheorie] 813 ff., Mertens [Auswahl] 297 ff.; Ordelheide [Instandhaltungsplanung] 16; Scheer [Instandhaltungspolitik] 29; Rinne [Präventivstrategien] 317 ff.

³ Bürk [Gesetzmäßigkeiten] 17 ff.; Ordelheide [Instandhaltungsplanung] 27 ff.; Scheer [Instandhaltungspolitik] 35 ff.

dauer sowohl der vorhandenen als auch der im Planungszeitraum möglicherweise anzuschaffenden Anlagen bekannt sind⁴. Neue Anlagen können verbesserte technologische Eigenschaften aufweisen. Diese zeigen sich vor allem in Art und Menge der einzusetzenden sowie mit ihnen herstellbaren Güterarten, in günstigeren Koeffizienten des Betriebsstoff- sowie Arbeitseinsatzes und in Änderungen des Intensitäts- und Genauigkeitsbereichs. In den Möglichkeiten zur Beschaffung von Anlagen mit verbesserten Eigenschaften sowie den mit ihnen durchführbaren neuen Produktionsverfahren kommt der technische Fortschritt zum Ausdruck.

Die Ausstattung des Produktionsbereichs mit *Arbeitskräften* ist zum einen von den Entscheidungen der Unternehmung über Einstellung und Entlassung von Arbeitskräften sowie ihre Schulung, Versetzung und Beförderung abhängig⁵. Zum andern wird sie durch „... Personalabgänge auf Grund von Arbeitnehmerkündigungen, Pensionierungen oder Sterbefällen, aber auch Entlassungen wegen außerordentlicher Vorkommnisse“⁶ sowie Krankheiten und Unfälle bestimmt. Der Einfluß dieser nicht im Verfügungsbereich der Unternehmung liegenden Tatbestände kann vielfach aufgrund empirischer Untersuchungen geschätzt werden⁷. Beispielsweise kann man unterstellen, daß sich für Klassen von Arbeitskräften mit gleicher Dauer der Betriebszugehörigkeit, gleicher Qualifikation und gleichem Lebensalter als Schätzwerte durchschnittliche Kündigungsrraten angeben lassen⁸. Entsprechend können anhand empirischer Erhebungen Durchschnittswerte und statistische Verteilungen für Abgänge bzw. Ausfälle wegen Krankheit, Unfall und freiwilliger Weiterbildung zu grunde gelegt werden. Die Entscheidungen über die Personalausstattung setzen die Kenntnis oder zumindest hinreichend genaue Vorstellungen über die Möglichkeiten der Arbeitskräftebeschaffung und -versetzung im Betrachtungszeitraum voraus. Die Unternehmung muß die Entwicklung auf dem Arbeitsmarkt prognostizieren können. Ferner muß sie die Begrenzung ihres Handlungsspielraums bei der Entlassung von Arbeitskräften durch gesetzliche oder tarifvertragliche Regelungen beachten.

Die Auswirkungen der Entscheidungen über den Potentialgüterbestand auf Gütereinsatz und Güterausbringung hängen davon ab, wie die verfügbaren Arbeitskräfte und maschinellen Anlagen zu *Produktiveinheiten* kombiniert werden. Der Einsatz von Anlagen erfordert die Führung, Steuerung, Kontrolle und/oder Bedienung durch menschliche Arbeitskräfte einer bestimmten Qualifikation. Die Nutzung der Leistungsfähigkeit einer Arbeitskraft wird davon be-

⁴ Vgl. Jacob [Entwicklungen] 33 ff.; Swoboda [Planung] 154 ff.; Hax [Investitionsplanung] 431.

⁵ Kossbiel [Personalplanung] 27.

⁶ Kossbiel [Personalplanung] 28. Vgl. auch Müller-Hagedorn [Personalbestandsplanung] 58 ff.

⁷ Vgl. Stegemann [Arbeitsplatzwechsel] 97 ff.

⁸ Müller-Hagedorn [Personalbestandsplanung] 66 ff.; Jarr [Personalplanung] 688.

stimmt, inwieweit sie für Tätigkeiten eingesetzt werden kann, die ihrer Qualifikation entsprechen⁹. Durch Variationen im Anlagen- oder Personalbestand sowie durch Versetzungen ändert sich auch die gegenseitige Zuordnung von Anlagen und Arbeitskräften. Deshalb kann weder für die Nutzungsdauer der Anlagen noch für die Dauer der Betriebszugehörigkeit von Arbeitskräften eine konstante gegenseitige Zuordnung unterstellt werden.

Zur Bildung der Produktiveinheiten ist die Erfassung von Qualifikationsmerkmalen¹⁰ der Arbeitskräfte notwendig, denen sich Anforderungsmerkmale der Anlagenbedienung gegenüberstellen lassen. Jede Arbeitskraft läßt sich durch eine Reihe persönlicher Eigenschaften wie Ausbildungsstand, Spezialisierungsgrad, Lebensalter u. a. kennzeichnen¹¹. Eine Arbeitskraft kann nur dann an einer Anlage eingesetzt werden, wenn ihre Eignung bei allen Merkmalen mindestens dem jeweiligen Anforderungsniveau entspricht. Durch die Zusammenfassung bestimmter Eignungs- bzw. Anforderungsniveaus kann man Qualifikationsgruppen bilden. Damit läßt sich für jede Anlage angeben, welcher Qualifikationsgruppe eine an ihr tätige Arbeitskraft angehören muß. Es ist möglich, daß Arbeitskräfte die Mindestbedingungen mehrerer Qualifikationsgruppen erfüllen¹². Durch Fortbildungsmaßnahmen läßt sich die Zugehörigkeit einer Arbeitskraft zu einer oder mehreren Qualifikationsgruppen verändern.

Beim erstmaligen Einsatz an einer Anlage bzw. einem bestimmten Anlagentyp benötigt eine Arbeitskraft in der Regel eine Zeit der Einarbeitung. Bis zur Beherrschung der Tätigkeit vollzieht sich ein Lernprozeß. Dessen Dauer wird insbesondere durch die Qualifikation der Arbeitskraft, ihre vorhergehende Tätigkeit, den Anlagentyp sowie die Homogenität der auszuführenden Arbeitsgänge determiniert. Häufig muß die Arbeitskraft vor oder zu Beginn ihrer Tätigkeit an der Anlage besonders ausgebildet werden¹³. Diese Anlernprozesse sind für die Entscheidungen über die Versetzung der Arbeitskräfte von großer Bedeutung. Sie bewirken, daß man allzu häufige Versetzungen zu vermeiden sucht. Ferner fühlen sich zahlreiche Arbeitskräfte an ihre Tätigkeit gebunden und widerstreben häufigen Arbeitsplatzwechseln.

Die Entscheidungen über den Bestand an maschinellen Anlagen und an Arbeitskräften haben nicht nur einen großen Einfluß auf den Erfolg der Unternehmung. Durch sie werden auch erhebliche finanzielle Mittel gebunden. Zugleich ist die Ausstattung mit Potentialgütern bestimmend für die Produktions-

⁹ Deshalb faßt Domsch Investitionsobjekte als Kombinationen von Sach- und Personalinvestitionen auf. Domsch [Investitionsplanung] 26 ff.

¹⁰ Vgl. zum folgenden Domsch [Personalplanung] 34 ff.; Franke [Personalbedarfsplanung] 32 f. Vereinfachend wird hier davon ausgegangen, daß jedes Anforderungsmerkmal mit einem bestimmten Anspruchsniveau erfüllt sein muß.

¹¹ Müller-Hagedorn [Personalbestandsplanung] 13 f.

¹² Vgl. hierzu Kossbiel [Behandlung] 169 ff.; Jarr [Personalplanung] 694 ff.

¹³ Domsch [Personalplanung] 48 ff.

kapazitäten. Sie beeinflußt damit die Möglichkeiten, Umsatzeinnahmen zu erzielen.

II. Aufbau eines umfassenden Produktionsmodells bei veränderlicher Struktur der Produktiveinheiten

Für die Erfassung der Interdependenzen zwischen einer Veränderung in der Struktur der Produktiveinheiten und den Input-Output-Beziehungen erscheint es zweckmäßig, ein *umfassendes* Produktionsmodell zu formulieren. Dieses Modell wird als theoretisches Aussagensystem zur Analyse der Interdependenzen verstanden, das nicht unmittelbar auf die praktische Anwendung ausgerichtet ist. Vielmehr wird es als Grundlage für die Entwicklung vereinfachter Optimierungsmodelle oder heuristischer Planungsmodelle¹ aufgefaßt, die für konkrete Planungs- und Steuerungsprobleme verwendbar sind.

Das umfassende Produktionsmodell wird in drei Teile gegliedert. Die Bestände an Arbeitskräften sowie Anlagen und deren Entwicklung im Zeitablauf werden in einem „Ausstattungsbereich“ erfaßt. Die gegenseitige Zuordnung der Arbeitskräfte und Anlagen gibt ein „Personalzuordnungsbereich“ wieder. Im „Produktionsvollzugsbereich“ werden die Beziehungen zwischen Potentialgüterbestand und der Strukturierung des Produktionsvollzugs abgebildet. Die zu untersuchenden Interdependenzen werden insbesondere aus den Verbindungen zwischen diesen Modellteilen ersichtlich.

1. Abbildung der Ausstattung mit maschinellen Anlagen und Arbeitskräften im umfassenden Produktionsmodell

Die in den bisher entwickelten Produktionsmodellen zugrunde gelegten Zeitintervalle müssen verhältnismäßig kurz sein, weil die Belegung der Produktiveinheiten im Produktionsablauf häufig wechselt. Auch Entscheidungen über Bestandsänderungen bei Potentialgütern sowie den Arbeitskräfteeinsatz können in kurzen Zeitabständen getroffen werden. Insbesondere der Tatbestand unvollkommener Information kann bewirken, daß diese Entscheidungen bei unerwarteten Datenänderungen sehr schnell getroffen bzw. revidiert werden müssen. Jedoch kann man davon ausgehen, daß diese Strukturierungstatbestände der Produktionsbereitschaft in der Regel in längeren Zeitabständen als Ablaufentscheidungen festgelegt werden².

Deshalb ist es angebracht, den Betrachtungszeitraum im umfassenden Produktionsmodell doppelt zu unterteilen. Zum einen wird er in Ω „Ausstattungs-

¹ Hierauf weist Dellmann hin. Dellmann [Entscheidungsmodelle] 200; zum Anwendungsproblem vgl. auch Franke [Personalbedarfsplanung] 8 ff.

² Diese Problematik wird in Abschnitt D.IV.2 vertieft.

oder „Investitions“-Perioden $\tau = 1, \dots, \Omega$ mit vorgegebenen Intervalldauern D^τ zerlegt. Veränderungen des Bestands an Arbeitskräften und Anlagen sowie ihrer gegenseitigen Zuordnung werden nur zu Beginn dieser Perioden vorgenommen. Die Periodendauer kann zum Beispiel einen Monat, ein Viertel- oder ein Halbjahr betragen. Zum anderen wird jede Ausstattungsperiode τ in eine vorgegebene Zahl von T „Ablauf“-Intervallen gegliedert. Die Dauer $d^{\tau i}$ des i -ten Intervalls in der Periode τ kann vorgegeben oder als Variable behandelt werden. Sie richtet sich nach den Häufigkeiten von Produktionswechseln und kann beispielsweise einen Arbeitstag betragen³.

Der Teil des Produktionsmodells, der sich auf Ausstattungsentscheidungen bezieht, wird in Anlehnung an Investitionsmodelle von *Herbert Jacob*⁴ entwickelt, weil diese die Beziehungen zwischen Investition und Produktion erfassen⁵. Hierdurch kann auch verdeutlicht werden, welche Einflüsse der Personalausstattung, des Produktionsablaufs und des Gütereinsatzes im Modell von *Jacob* unvollständig berücksichtigt sind.

Die im Produktionsbereich einzusetzenden *maschinellen Anlagen* m werden durch drei Merkmale gekennzeichnet: den Funktions- (bzw. Verrichtungs-) Typ v , den Anforderungs- (bzw. Eignungs-) typ e und die Anschaffungsperiode τ' . Anlagen mit übereinstimmenden technischen Eigenschaften, die gleichartige Arbeitsgänge an denselben Produktarten durchführen können, werden zu demselben Funktionstyp v gerechnet. Vielfach werden Anlagen unterschiedlicher Funktionstypen von Arbeitskräften bedient, welche dieselbe ‚Eignung‘ e aufweisen bzw. derselben Qualifikationsgruppe angehören. Deshalb ist jedem Funktionstyp v ein bestimmter Anforderungstyp e eindeutig zugeordnet. Dieser beschreibt die zur Maschinenbedienung erforderliche Qualifikation. Schließlich gibt die Anschaffungsperiode τ' an, zu Beginn welcher Periode eine Anlage beschafft worden ist. Dieses Merkmal ist maßgebend für die Ermittlung des Alters einer Anlage. Vereinfachend wird in Anlehnung an *Jacob*⁶ unterstellt, daß die technisch mögliche Lebens- oder Nutzungsdauer jeder Anlage im voraus geschätzt werden kann und nicht von der Art der Anlagennutzung abhängig ist. Reparaturmaßnahmen müßten durch spezielle Variablen berücksichtigt werden, die sich auf die Nutzungsdauer und die Leistungsfähigkeit der Anlagen auswirken. Maschinenstörungen könnten durch funktionstyp- und altersabhängige Koeffizienten erfaßt werden, deren Ausprägung ebenfalls vor den Reparaturmaßnahmen beeinflußt wird. Um das Modell übersichtlicher zu gestalten, werden im folgenden diese Erweiterungen nicht durchgeführt.

³ Eine entsprechende Untergliederung in verschieden lange Zeitabschnitte nimmt Meyhak vor. Meyhak [Gesamtplanung] 42 ff. und 127 f.

⁴ Jacob [Entwicklungen] 29 ff.

⁵ Vgl. ferner die Modelle von Förstner/Henn [Produktionstheorie] 119 ff.; Swoboda [Anpassung] 168 ff.; Swoboda [Planung] 152 ff.; Seelbach [Investitionsplanung] 22 ff.

⁶ Jacob [Entwicklungen] 33.

Die Anzahl der zu Beginn einer Periode τ' angeschafften maschinellen Anlagen des Funktionstyps v (und des ihm eindeutig zugeordneten Anforderungstyps e) wird durch die Variable $\hat{M}_{v\tau'}$ wiedergegeben. Zu Beginn der Periode τ werden hiervon $\bar{M}_{v\tau}'$ Anlagen verkauft. Die Variablen $\hat{M}_{v\tau'}$ bzw. $\bar{M}_{v\tau}'$ der Anschaffung bzw. des Verkaufs dürfen nur nichtnegative ganzzahlige Werte annehmen. Deshalb müssen die Nebenbedingungen D.1 und D.2 erfüllt sein:

$$\hat{M}_{v\tau'} \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \tau'' = 1, \dots, \Omega; \quad \text{für alle } v \quad (\text{D.1})$$

$$\bar{M}_{v\tau'} \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \begin{matrix} \tau'' = 0, \dots, \tau - 1; \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } v^8 \quad (\text{D.2})$$

Wenn eine Anlage frühestens eine Periode nach ihrer Anschaffung verkauft werden kann, ergibt sich die Anzahl $M_{v\tau}'$ der in einer Periode τ verfügbaren Anlagen des Funktionstyps v und des Anforderungstyps e , die zu Beginn der Periode τ' angeschafft worden sind, nach Jacob⁹ aus der Anlagenbestandsgleichung D.3:

$$M_{v\tau}' = \hat{M}_{v\tau'} - \sum_{\substack{v=\tau'+1 \\ \tau'' < \tau}}^{\tau} \bar{M}_{v\tau''} \quad \begin{matrix} \tau'' = 0, \dots, \tau; \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } v \quad (\text{D.3})$$

Zur Bestimmung der Ausstattung des Produktionsbereichs mit *Arbeitskräften* in einer Periode τ sind entsprechende Personalbestandsgleichungen aufzustellen¹⁰. Die Arbeitskräfte werden durch ihr Lebensalter k , ihren Eignungs- oder Qualifikationsgrad e sowie die Periode τ' ihrer Einstellung gekennzeichnet. Vereinfachend wird angenommen, daß jede Arbeitskraft nur einer Qualifikationsgruppe angehört¹¹. Ferner wird näherungsweise unterstellt, daß der Personalbestand lediglich durch Einstellungen und Entlassungen sowie freiwillige Kündigungen der Arbeitnehmer verändert wird. Zu- und Abgänge durch Versetzungen, Beförderungen, Schulungsmaßnahmen, Krankheit, Unfälle, Tod o. a. könnten durch weitere Glieder in die Personalbestandsgleichungen aufgenommen werden. Man kann davon ausgehen, daß reguläre Pensionierungen bei einem vorgegebenen Lebensalter erfolgen¹². Sie müssen daher in der Personalbestandsgleichung nicht angeführt werden¹³.

⁷ Die zu Beginn des Betrachtungszeitraums und damit zu Beginn der Periode $\tau = 1$ vorhandenen Anlagen werden der Anschaffungsperiode $\tau' = 0$ zugerechnet.

⁸ Durch die eindeutige Zuordnung von e zu v werden implizit auch alle benötigten Anforderungstypen erfaßt.

⁹ Jacob [Entwicklungen] 37.

¹⁰ Vgl. zum folgenden Müller-Hagedorn [Personalbestandsplanung] 66 ff.

¹¹ Mehrfachqualifikationen lassen sich gemäß dem Vorschlag von Kossbiel einbeziehen. Kossbiel [Behandlung] 174 ff.; Jarr [Personalplanung] 694 ff.

¹² Eine vorzeitige Pensionierung bei flexibler Altersgrenze kann in die freiwillige Arbeitnehmerkündigung einbezogen werden.

¹³ Da im Pensionsalter kein Arbeitskräftebestand mehr vorliegt, ist das entsprechende Glied bei Müller-Hagedorn nicht einsichtig. Müller-Hagedorn [Personalbestandsplanung] 66 ff. und 78. Vgl. auch die Kritik von Jarr [Personalplanung] 689 ff.

Einstellungen und Entlassungen können jeweils zu Beginn einer Periode vorgenommen werden. Die Zahl der in einer Periode τ' im Lebensalter von k' eingestellten Arbeitskräfte einer Qualifikationsgruppe e wird durch die Einstellungsvariable $\hat{A}_{k'e\tau'}$ bezeichnet. Das Lebensalter k ändert sich mit dem Ablauf der Perioden τ . Zweckmäßigerweise stimmt man daher die Zählung des Lebensalters auf die für Ausstattungsentscheidungen angenommene Periodeneinteilung ab, so daß die Zählung der Perioden τ und der Lebensalter k gleich verlaufen¹⁴. Gehört eine Arbeitskraft in der Periode τ der Lebensalterklasse k an, so entspricht ihrer Einstellungsperiode τ' das Lebensalter

$$k' = k - (\tau - \tau')$$

Die „Entlassungsvariable“ $\bar{A}_{ke\tau}'$ gibt die Anzahl der Arbeitskräfte aus der Qualifikationsgruppe e an, die in Periode τ' eingestellt worden sind und zu Beginn der Periode τ im Lebensalter von k entlassen werden. Auch die Variablen der Einstellung und der Entlassung dürfen nur nichtnegative ganzzahlige Werte annehmen:

$$\hat{A}_{k'e\tau'} \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \tau' = 1, \dots, \Omega; \quad \text{für alle } k', e \quad (D.4)$$

$$\bar{A}_{ke\tau'} \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \begin{matrix} \tau' = 0, \dots, \tau-1; \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } k, e \quad (D.5)$$

In Anlehnung an *Lothar Müller-Hagedorn*¹⁵ wird die Hypothese zugrunde gelegt, daß die Höhe der freiwilligen *Arbeitnehmerkündigungen* vom Lebensalter, von der Qualifikation sowie von der Dauer der Betriebszugehörigkeit abhängt.

- * Man nimmt an, daß sich für jede Klasse von Arbeitnehmern einer Qualifikationsgruppe e mit gleichem Lebensalter k und gleicher Dauer der Betriebszugehörigkeit $\tau - \tau'$ eine (annähernd) konstante Abgangsrate $\xi_{ke, \tau-\tau'}$ ermitteln läßt. Diese gibt an, welcher Anteil der zu Beginn einer Periode $\tau - 1$ vorhandenen Arbeitskräfte einer bestimmten Klasse nach einer Betriebszugehörigkeit von $\tau - \tau'$ Perioden zu Beginn der nächsten Periode freiwillig ausscheidet. Bezeichnet man die zu Beginn der Periode $\tau - 1$ vorhandene Zahl an Arbeitnehmern im Lebensalter $k - 1$ der Qualifikationsgruppe e , die in Periode τ' eingestellt worden sind, mit $A_{k-1,e\tau'}$, so verlassen zu Beginn der Periode τ die Unternehmung insgesamt

$$\xi_{ke, \tau-\tau'} \cdot A_{k-1,e\tau'}^{\tau-1} \quad (D.6)$$

Arbeitnehmer dieser Klasse. Ist der Arbeitskräftebestand in jeder Klasse nicht sehr groß, ergibt sich aus Beziehung D.6 häufig eine gebrochene Anzahl von Ar-

¹⁴ Gegebenenfalls müssen die Lebensalter in Monaten, Viertel- oder Halbjahren gezählt werden.

¹⁵ Müller-Hagedorn [Personalbestandsplanung] 66 ff.; vgl. auch Jarr [Personalplanung] 688; Küching [Personalplanung] 110 f.

beitnehmerkündigungen. Dann ist eine ganzzahlige „Kündigungsvariable“ $f_{ke\tau}^{\tau}$ einzuführen. Diese bezeichnet die Anzahl der Arbeitskräfte einer Qualifikationsgruppe e, die in Periode τ' eingestellt worden sind und zu Beginn der Periode τ durch ‚freiwillige‘ Kündigung im Lebensalter k ausscheiden. Neben den Nichtnegativitäts- und Ganzzahligkeitsbedingungen D.7

$$f_{ke\tau}^{\tau} \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \begin{matrix} \tau' = 0, \dots, \tau-1; \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } k, e \quad (\text{D.7})$$

ist für den Wertebereich dieser Kündigungsvariablen die Prämissen maßgebend, daß sie stets den nächst größeren ganzzahligen Wert gegenüber dem Ausdruck D.6 erhalten. Dieser Zusammenhang wird durch die Ungleichungen D.8 wiedergegeben:

$$\zeta_{ke,\tau-\tau'} \cdot A_{k-1,e\tau'}^{\tau-1} + 1 \geq f_{ke\tau}^{\tau} \geq \zeta_{ke,\tau-\tau'} \cdot A_{k-1,e\tau'}^{\tau-1} \quad \begin{matrix} \tau' = 0, \dots, \tau-1; \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } k, e \quad (\text{D.8})$$

Aus der Zahl an Arbeitnehmern mit der Qualifikation e, die in Periode τ' eingestellt worden sind, und den von diesen bis zum Intervall τ entlassenen sowie durch freiwillige Kündigung ausgeschiedenen Arbeitnehmern kann man die Personalbestandsgleichung D.9 formulieren:

$$A_{ke\tau}^{\tau} = \hat{A}_{k-\tau+\tau',e\tau'} - \sum_{v=\tau'+1}^{\tau} \bar{A}_{k-\tau+v,e\tau'}^v - \sum_{v=\tau'+1}^{\tau} f_{k-\tau+v,e\tau}^v \quad \begin{matrix} \tau' = 0, \dots, \tau; \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } k, e \quad (\text{D.9})$$

In Gleichung D.9 wird vorausgesetzt, daß Entlassungen und Kündigungen frühestens eine Periode nach der Einstellung erfolgen.

2. Abbildung der gegenseitigen Zuordnung von Arbeitskräften und maschinellen Anlagen im umfassenden Produktionsmodell

Vielfach geht man davon aus, daß sich der Arbeitskräftebedarf¹ in Abhängigkeit vom Produktionsprogramm², den Gütereinsatzmengen³ und der Ausstattung mit maschinellen Anlagen⁴ bestimmen läßt. Derartige Ansätze vernachläs-

¹ Zum Überblick vgl. Gaugler und Mitarbeiter [Personalplanung] 51 ff.

² Vgl. Hentze [Personalbedarf] 678 f. und 681 f.; Hu/Prager [Analysis] 18; Holt/Mondigiani/Simon [Decision Rule] 3 ff.; Küching [Personalplanung] 58 ff.; Mensch [Personalplanung] 470; Müller-Hagedorn [Personalbestandsplanung] 23 und 74; Nemhauser/Nuttle [Approach] B.157; Rosenberg [Investitionsplanung] 23; Schild [Inventory] 160; Seidel [Matrizenmodelle] 51 ff.; Vazsonyi [Planungsrechnung] 348 ff.

³ Rosenberg [Investitionsplanung] 27 ff.

⁴ Domsch [Personalplanung] 26.

sigen jedoch wichtige Bestimmungsgrößen. In ihnen wird in der Regel die Abhängigkeit des Arbeitskräftebedarfs von der Art der Stellenabgrenzung und des Personaleinsatzes nicht berücksichtigt. Ferner bleibt außer Betracht, daß die Möglichkeiten zur laufenden Anpassung des Arbeitskräftebestands an Schwankungen der Produktion sowie zur häufigen Versetzung von Arbeitskräften begrenzt sind. Auch wird nicht beachtet, daß die Tätigkeitszeit einer Arbeitskraft an einer Anlage von der Strukturierung des Fertigungsablaufs beeinflußt wird⁵. Diese Ansätze können lediglich als Elemente globaler Planungsmodelle verstanden werden, in denen bestimmte Ausprägungen der Stellenbildung, des Personaleinsatzes und des Fertigungsablaufs unterstellt werden.

Zur Kennzeichnung der Ausstattung mit Arbeitskräften und maschinellen Anlagen in einer Periode reicht es aus, die Gesamtzahl der verfügbaren Arbeitskräfte und Anlagen eines jeden Typs zu bestimmen. Bezieht man die gegenseitige Zuordnung der Arbeitskräfte und Anlagen sowie die Strukturierung des Fertigungsablaufs in die Analyse ein, so muß von einer Betrachtung der jeweiligen *Bestandsmengen* auf eine Betrachtung der *einzelnen* Arbeitskräfte und Anlagen übergegangen werden. Die Möglichkeiten der Stellenbildung hängen davon ab, inwieweit die einzelne Arbeitskraft ausgelastet wird. Personaleinsatz bedeutet die Zuordnung einer bestimmten Arbeitskraft zu bestimmten Anlagen und Tätigkeiten. Auch die Alternativen der Arbeitsverteilung und der Gangfolgen beziehen sich auf individuelle Produktiveinheiten. Durch den Übergang von den Bestandsmengen auf die Betrachtung der einzelnen Potentialgüter erhöht sich zwangsläufig der Planungsaufwand.

Im folgenden werden jede individuelle Arbeitskraft durch einen Vektor $a = (k, e, \tau', a)$ und jede individuelle Anlage durch einen Vektor $m = (v, \tau'', m)$ gekennzeichnet. Diese Vektoren bezeichnen als Indices die a-te Arbeitskraft mit dem Lebensalter k, der Qualifikation e und der Einstellungsperiode τ' bzw. die m-te Anlage des Funktionstyps v, die zu Beginn der Periode τ'' angeschafft worden ist. Zusätzlich sind „Individualvariablen“ einzuführen, welche die Verbindung zwischen den Variablen des Arbeitskräfte- bzw. Anlagenbestandes und den Zuordnungsvariablen herstellen. Diese Individualvariablen i_a^τ bzw. j_m^τ geben an, ob die einzelne Arbeitskraft a bzw. die einzelne Anlage m in der Periode τ verfügbar ist oder nicht. Sie können lediglich die Werte Null oder Eins annehmen und sind wie folgt definiert:

$$i_a^\tau = i_{(k, e, \tau', a)}^\tau = \begin{cases} 1, & \text{sofern die } a\text{-te Arbeitskraft der Qualifikationsgruppe } e \text{ und} \\ & \text{des Lebensalters } k, \text{ die zu Beginn der Periode } \tau' \text{ eingestellt} \\ & \text{worden ist, in der Periode } \tau \text{ verfügbar ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$$j_m^\tau = j_{(v, \tau'', m)}^\tau = \begin{cases} 1, & \text{sofern die } m\text{-te maschinelle Anlage des Funktionstyps } v \text{ (und} \\ & \text{damit des Anforderungstyps } e), \text{ die zu Beginn der Periode } \tau'' \text{ angeschafft} \\ & \text{worden ist, in der Periode } \tau \text{ verfügbar ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

⁵ Mensch [Personalplanung] 475 ff.; Küching [Personalplanung] 135 ff.

Der Wertebereich dieser Individualvariablen wird durch die Nebenbedingungen D.10 und D.11 begrenzt:

$$\sum_a i_{(k,e,\tau',a)}^{\tau} \leq 1 \quad \text{ganzzahlig} \quad \begin{matrix} \tau' = 0, \dots, \tau \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } a, k, e \quad (\text{D.10})$$

$$\sum_m j_{(v,\tau'',m)}^{\tau} \leq 1 \quad \text{ganzzahlig} \quad \begin{matrix} \tau'' = 0, \dots, \tau \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } m, v \quad (\text{D.11})$$

Durch Summation über sämtliche Arbeitskräfte $a = 1, \dots, \hat{A}_{k\tau'}$ vom Typ $k\tau'$ bzw. sämtliche maschinellen Anlagen $m = 1, \dots, \hat{M}_{v\tau''}$ vom Typ $v\tau''$ erhält man aus den Individualvariablen den Bestand an Arbeitskräften bzw. Anlagen eines jeden Typs in der Periode τ :

$$\sum_a i_{(k,e,\tau',a)}^{\tau} = A_{ke\tau'}^{\tau} \quad \begin{matrix} \tau' = 0, \dots, \tau \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } k, e \quad (\text{D.12})$$

$$\sum_m j_{(v,\tau'',m)}^{\tau} = M_{v\tau''}^{\tau} \quad \begin{matrix} \tau'' = 0, \dots, \tau \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } v \quad (\text{D.13})$$

Die Arbeitskräfte eines bestimmten Typs $k\tau'$ weisen gleiche Merkmale hinsichtlich ihres Lebensalters k , ihrer Qualifikation e und ihrer Einstellungsperiode τ' auf. In gleicher Weise werden die Anlagen eines Typs $v\tau''$ als gleichartig betrachtet. Deshalb muß nicht erfaßt werden, in welcher Reihenfolge die Arbeitskräfte oder Anlagen wegen Entlassung oder Kündigung bzw. Verkauf ausscheiden. Vereinfachend kann man daher bei der Numerierung der Individualvariablen unterstellen, daß jeweils die Arbeitskräfte bzw. Anlagen mit den höchsten Nummern ausscheiden⁷. Diese Konvention wird durch die Nebenbedingungen D.14 und D.15 ausgedrückt:

$$i_{(k,e,\tau',a)}^{\tau} \leq i_{(k,e,\tau',a-1)}^{\tau} \quad \begin{matrix} \tau' = 0, \dots, \tau \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } a, k, e \quad (\text{D.14})$$

$$j_{(v,\tau'',m)}^{\tau} \leq j_{(v,\tau'',m-1)}^{\tau} \quad \begin{matrix} \tau'' = 0, \dots, \tau \\ \tau = 1, \dots, \Omega \end{matrix} \quad \text{für alle } m, v \quad (\text{D.15})$$

Durch eine Berücksichtigung der Abgangsreihenfolgen von Arbeitskräften und Anlagen würden sich die Anforderungen an den Präzisionsgrad der Hypothesen und die Modellkomplexität sehr stark erhöhen. Insbesondere erscheinen (statistische) empirische Hypothesen über die Abgangsrate aus einer Gesamtmenge, wie sie in der Beziehung D.6 für die Fluktuation zugrunde gelegt werden, leichter formulierbar als Hypothesen über den Zeitpunkt des Ausscheidens einzelner Elemente dieser Menge.

⁶ Die Obergrenzen $\hat{A}_{k\tau'}$ bzw. $\hat{M}_{v\tau'}$ werden durch die Einstellung von Arbeitskräften dieses Typs in Periode τ bzw. die Anschaffung von Anlagen dieses Typs in Periode τ' bestimmt.

⁷ Diese Konvention entspricht der Konvention, daß die Arbeitskräfte bzw. Anlagen eines Typs in jeder Periode neu durchnumeriert werden.

D.16a

Die *Bildung einer Produktiveinheit* durch die gegenseitige Zuordnung einer Arbeitskraft und einer maschinellen Anlage läßt sich mit Hilfe von binären Zuordnungsvariablen $z_{am}^{\tau} = z_{(k,e,\tau',a),(v,\tau'',m)}^{\tau}$ ausdrücken⁸. Diese Zuordnungsvariablen nehmen lediglich dann den Wert Eins an, wenn die Arbeitskraft $a = (k, e, \tau', a)$ mit der Qualifikation $e = e_v$ in der Periode der Anlage $m = (v, \tau'', m)$ zugeordnet ist. Allgemein gilt:

$$z_{am}^{\tau} = z_{(k,e,\tau',a),(v,\tau'',m)}^{\tau} = \begin{cases} 0, & \text{sofern } e \neq e_v \\ 1, & \text{sofern die } a\text{-te Arbeitskraft mit dem Lebensalter } k \\ & \text{und der Qualifikation } e_v, \text{ die zu Beginn der Periode } \\ & \tau' \text{ eingestellt worden ist, in der Periode } \tau \text{ die } m\text{-te} \\ & \text{Anlage des Funktionstyps } v, \text{ die zu Beginn der Periode } \\ & \tau'' \text{ angeschafft worden ist, bedient} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad \text{sofern } e = e_v$$

Ihre Werte müssen nichtnegativ und ganzzahlig sein:

$$z_{am}^{\tau} \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \text{für alle } \tau, a, m \quad (\text{D.16})$$

Eine bestimmte Arbeitskraft a kann in einer Periode τ nur dann einer bestimmten Anlage m zugeordnet werden, wenn sowohl diese Arbeitskraft als auch diese Anlage in τ zum Arbeitskräfte- bzw. Anlagenbestand gehören. Diese Beziehungen zwischen den Zuordnungs- und den Individualvariablen werden durch die Nebenbedingungen D.17 und D.18 erfaßt:

$$z_{am}^{\tau} \leq i_a^{\tau} \quad \text{für alle } \tau, a, m \quad (\text{D.17})$$

$$z_{am}^{\tau} \leq j_m^{\tau} \quad \text{für alle } \tau, a, m \quad (\text{D.18})$$

Durch die Nebenbedingungen D.17 und D.18 wird zugleich sichergestellt, daß die Zuordnungsvariablen den Wert Eins nicht übersteigen.

Ferner ist zu fordern, daß jeder im Betrieb vorhandenen Anlage eine Arbeitskraft zugeordnet wird, die für deren Bedienung qualifiziert ist. Wird eine Anlage in einer Periode nicht eingesetzt, so ist die Einsatzzeit der ihr zugeordneten Arbeitskraft an dieser Anlage gleich Null⁹. Einer Anlage $m = (v, \tau'', m)$ des Funktionstyps v ist daher eine Arbeitskraft mit der Qualifikation e_v zuzuordnen. Bezeichnet man die Menge der Arbeitskräfte dieser Qualifikation mit A_v und wird an jeder Anlage nur eine Arbeitskraft tätig, so ergibt sich die weitere Beziehung D.19 zwischen Zuordnungs- und Individualvariablen:

$$\sum_{a \in A_v} z_{am}^{\tau} = j_m^{\tau} \quad \text{für alle } \tau, m \quad (\text{D.19})$$

⁸ Vgl. Seite 103.

⁹ Vgl. D.24a.

Vielfach ist der Zeitbedarf einer Arbeitskraft zur Bedienung einer Anlage nicht so hoch, daß sie nur einer Anlage zugeordnet werden kann¹⁰. Dann ist es notwendig, auch das Problem der *Stellenbildung* in dem umfassenden Produktionsmodell abzubilden. In diesem Fall umfaßt eine Stelle¹¹ mehrere Anlagen bzw. Produktiveinheiten, an denen dieselbe Arbeitskraft tätig ist. Die Alternativen der Stellenabgrenzung werden von der Zahl und den Eigenschaften der Anlagen sowie den an ihnen auszuführenden Tätigkeiten bestimmt. Die Anschaffung neuer Anlagen und das Ausscheiden bisher vorhandener Anlagen verändern ebenso wie Wandlungen in der (qualitativen) Zusammensetzung des Personalbestands die Alternativen der Stellenbildung.

Bei der Analyse des Problems der Stellenbildung wird hier unterstellt, daß die Standorte der (potentiell verfügbaren) maschinellen Anlagen und damit der Organisationstyp der Fertigung vorgegeben sind. Diese Prämisse erscheint gerechtfertigt, weil sich die Anlagenstandorte vielfach nur mit großem Aufwand ändern lassen. Häufig richten sich die Standorte von neueren Anlagen nach der räumlichen Anordnung der schon vorhandenen Anlagen.

Maßgebend für die Alternativen der Stellenabgrenzung ist die Beanspruchung der Arbeitskräfte durch die einzelnen Anlagen. In jedem Intervall t einer Periode τ darf die Einsatzzeit einer Arbeitskraft, die zur Bedienung der ihr zugeordneten Anlage benötigt wird, die Intervalldauer nicht überschreiten¹². Nach den in Abschnitt C.II.2 entwickelten Einsatzfunktionen für menschliche Arbeit¹³ setzt sich die Einsatzzeit einer Arbeitskraft aus Rüst-, Tätigkeits-, Verteil- und Erholungszeiten zusammen. Daraüber hinaus sind für die räumliche Abgrenzung von Stellen die Wegzeiten zwischen den zu bedienenden Anlagen maßgebend¹⁴. Die Abbildung der Entfernungen sowie der Wegzeiten zwischen den Anlagen würde zu einem äußerst komplizierten Ansatz führen¹⁵. Um große Wegzeiten zu vermeiden, faßt man in der Regel räumlich benachbarte Anlagen zu einer Stelle zusammen. Deshalb wird im folgenden als Beispiel ein vereinfachter Ansatz der Stellenbildung entwickelt. Man teilt die Anlagen innerhalb eines Bereichs, zum Beispiel einer Werkstatt, in Teilmengen möglicher Stellen ein. Zu einer solchen Teilmenge gehören die Anlagen, die aufgrund ihrer räumlichen Anordnung sowie ihres Funktionstyps zu einer Stelle zusammengefaßt werden könnten. Verschiedene Möglichkeiten der Zuordnung von Anlagen zu der einen oder anderen Stelle kommen darin zum Ausdruck, daß die Schnittmengen nicht leer sind. Beispielsweise kann die Anlage 6 in Abbildung 35 ent-

¹⁰ Vgl. Hackstein/Kleensang [Auswirkungen] 539 ff.

¹¹ Zum Stellenbegriff vgl. Seite 47 f.

¹² In einem „mechanistischen“ Modell der Stellen- und Personalbedarfsplanung von Franke bildet der Zeitbedarf für die Aufgabenverrichtung in einer Stelle ebenfalls eine wichtige Grundlage. Franke [Personalbedarfsplanung] 34 ff., insb. 43.

¹³ Vgl. Seite 170 ff.

¹⁴ Vgl. Dellmann [Bedienungssysteme] 22 ff.; vgl. auch Nastansky/Dellmann 717 ff.

¹⁵ Dellmann [Bedienungssysteme] 23 ff.

weder mit den Anlagen 4, 5, 7 und/oder 8 oder mit den Anlagen 3, 4 und/oder 5 zu einer Stelle zusammengefaßt werden. Sie darf aber keinesfalls mit den Anlagen 1 und 2 eine Stelle bilden. Durch die Einteilung sämtlicher zu berücksichtigender Anlagen in Teilmengen potentieller Stellen läßt sich die Alternativenzahl der Stellenbildung stark verringern. Da bei dieser Einteilung die Entfernung zwischen den Anlagen berücksichtigt werden, erscheint eine Vernachlässigung der Wegzeiten gerechtfertigt¹⁶.

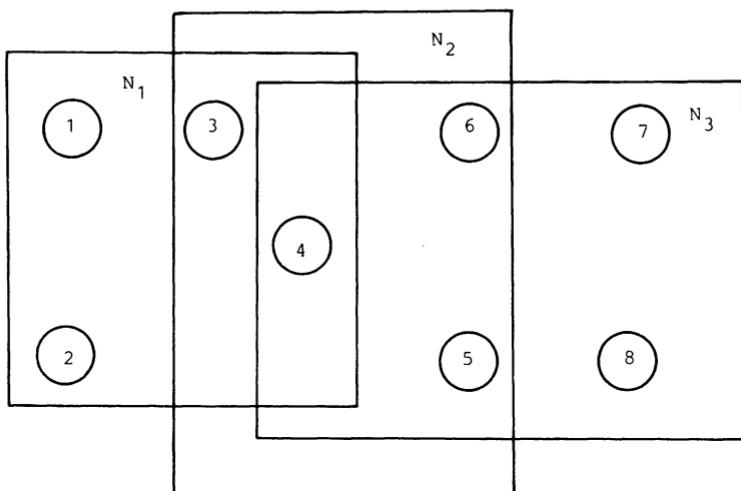


Abb. 35: Beispiel für Einteilung der Anlagen in Teilmengen möglicher Stellen

Aus der Untergliederung der Menge aller Anlagen in Teilmengen N potentieller Stellen ergibt sich, welche Anlagen nicht zu derselben Stelle zusammengefaßt werden dürfen. Deshalb können für sämtliche Paare derartiger Anlagen Nebenbedingungen der Art D.20 aufgestellt werden:

$$z_{am}^{\tau} + z_{an}^{\tau} \leq 1 \quad \text{für alle } (m \in N_i, n \in N_j) \mid N_i \neq N_j \wedge n \notin N_i; \quad (D.20)$$

für alle τ, a, m

Diese Nebenbedingungen gewährleisten, daß beispielsweise die Anlage 1 in Abbildung 35 als Element der Menge N_1 nicht mit der Anlage 5 als Element der Menge N_2 kombiniert werden kann, weil die Teilmengen N_1 und N_2 nicht identisch sind und die Anlage 5 nicht zur Menge N_1 gehört. Dagegen kann zum Beispiel die Anlage 4 in Abbildung 35 mit allen anderen Anlagen zu derselben Stelle zusammengefaßt werden.

¹⁶ Man könnte sie näherungsweise durch einen Anteil an der Intervalldauer oder an den Fertigungszeiten berücksichtigen.

Die Besetzung der Stellen mit Arbeitskräften darf nur so vorgenommen werden, daß die Einsatzzeit jeder Arbeitskraft in jedem Intervall τ die Intervalldauer d^τ nicht überschreitet. Die Einsatzzeit der Arbeitskraft a an einer Anlage m im Intervall τ der Periode τ wird mit r_{am}^{τ} bezeichnet. Sie kann lediglich dann größer als Null sein, wenn die Arbeitskraft dieser Anlage in der Periode τ zugeordnet ist. Diese Beziehungen werden durch die Nebenbedingungen D.21 erfaßt, in denen D^τ der Periodendauer entspricht:

$$\sum_t r_{am}^{\tau t} \leq z_{am}^\tau \cdot D^\tau \quad \text{für alle } \tau, a, m \quad (\text{D.21})$$

Die gesamte Einsatzzeit $r_a^{\tau t}$ einer Arbeitskraft a in einem Intervall t der Periode τ setzt sich entsprechend Gleichung D.22 aus ihren Einsatzzeiten an den von ihr bedienten Anlagen zusammen:

$$r_a^{\tau t} = \sum_m r_{am}^{\tau t} \quad \text{für alle } \tau, t, a \quad (\text{D.22})$$

Da diese Einsatzzeit die Intervalldauer d^τ nicht überschreiten darf, gelten ferner die Einsatzzeitbeschränkungen D.23

$$r_a^{\tau t} \leq d^\tau \quad \text{für alle } \tau, t, a \quad (\text{D.23})$$

3. Abbildung der Beziehungen zwischen Potentialgüterbestand und Produktionsvollzug im umfassenden Produktionsmodell

Der Vollzug des Produktionsprozesses kann entsprechend den in Abschnitt C.II entwickelten Produktionsmodellen abgebildet werden. Maßgebend für die Verbindung zwischen Stellenbildung sowie Stellenbesetzung und Produktionsvollzug sind die Einsatzfunktionen der Arbeitskräfte. Nach den in Abschnitt C.II.2¹ entwickelten Einsatzfunktionen wird angenommen, daß sich die Einsatzzeit einer Arbeitskraft a an einer Anlage m in jedem Intervall τt aus den Rüstzeiten h_{qpv} , einem proportionalen Anteil ξ_{pv} der Fertigungszeiten für das Ein- und Ausspannen der Werkstücke sowie die Anlagenüberwachung, einem proportionalen Anteil μ_v der Fertigungszeiten für Verteilzeiten und einem proportionalen Anteil η_v der Fertigungszeiten für Erholungszeiten zusammensetzt. In der Definition dieser Koeffizienten kommen mehrere Hypothesen zum Ausdruck. So wird unterstellt, daß die Rüstzeiten von den Gangfolgen qp und dem Funktionstyp v der Anlage abhängen. Ferner wird angenommen, daß die Tätigkeitszeiten von der bearbeiteten Produktart p und dem Funktionstyp v der Anlage bestimmt werden. Für die Verteil- und Erholungszeiten wird dagegen lediglich der Funktionstyp v der Anlagen als maßgebend angesehen².

¹ Vgl. Seite 170 ff.

² Dabei ist zu beachten, daß jedem Funktionstyp v eine Qualifikationsgruppe e eindeutig zugeordnet ist. Die Koeffizienten der Verteil- und Erholungszeiten könnten gegebenenfalls auch nach dem Lebensalter k differenziert werden.

Die Fertigungszeit einer Produktart p im t -ten Intervall der Periode τ auf der Anlage m bei einer Intensität von δ wird durch die Variable $d_{pm\delta}^{\tau t}$ bezeichnet, während Rüstprozesse dieser Anlage durch die Umrüstvariablen $u_{qpm}^{\tau t}$ erfaßt werden. Dann läßt sich die Einsatzzeit $r_{am}^{\tau t}$ einer Arbeitskraft a an dieser Anlage über die Ungleichungen D.24a bestimmen:

$$\begin{aligned} r_{am}^{\tau t} &\geq \sum_{q,p} h_{qp\tau} \cdot u_{qpm}^{\tau t} + \sum_{p,\delta} \epsilon_{p\tau} \cdot d_{pm\delta}^{\tau t} \\ &+ \sum_{p,\delta} (\mu_v + n_v) \cdot d_{pm\delta}^{\tau t} - (1 - z_{am}^{\tau}) \cdot D^\tau \quad (D.24a) \\ r_{am}^{\tau t} &\leq 0 \quad \text{für alle } \tau, t, a, m = (v, \tau', m) \end{aligned}$$

Das letzte Glied $(1 - z_{am}^{\tau}) \cdot D^\tau$ in D.24a bewirkt, daß die Einsatzzeit der Arbeitskraft a an der Anlage m nur dann mindestens der Summe aus Rüst-, Tätigkeits-, Verteil- und Erholungszeiten dieser Anlage entspricht, wenn sie ihr zugeordnet ist³.

Ferner gelten die Bedingungen der in Abschnitt C.II entwickelten Produktionsmodelle. Als Beispiel wird das Modell C.72⁴ der offenen Produktion mit variablen Intervalldauern zugrunde gelegt. Verwendet man die in Abschnitt C.II eingeführten Bezeichnungen und berücksichtigt man, daß jedes Intervall durch die Indices τt und jede Anlage durch den Index m gekennzeichnet sind, so ergeben sich die Nebenbedingungen D.25a bis h:

$$\begin{aligned} \sum_{m,\delta} \psi_{pm\delta} \cdot \rho_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^{\tau t} &= \\ \sum_{q=1}^p \alpha_{pq}^o \cdot \sum_{m,\delta} \rho_{qpm\delta} \cdot d_{qpm\delta}^{\tau t} + x_p^{\tau t} + l_p^{\tau t} - l_p^{\tau, t-1} & \quad (D.25a) \end{aligned}$$

$$d_{pm\delta}^{\tau t} \leq z_{pm\delta}^{\tau t} \cdot D^\tau \quad (D.25b)$$

$$z_{pm\delta}^{\tau t} \quad \text{ganzzahlig} \quad (D.25c)$$

³ Die negative Gewichtung der Kosten für menschliche Arbeit in der Zielfunktion bewirkt, daß die Einsatzzeit in diesem Fall der Summe aus Rüst-, Tätigkeits-, Verteil- und Erholungszeit entspricht.

⁴ Vgl. Seite 166.

$$\sum_{p,\delta} z_{p\delta}^{\tau t} \leq 1 \quad (D.25d)$$

$$u_{qp\delta}^{\tau t} \geq \sum_{\delta} z_{q\delta}^{\tau, t-1} + \sum_{\delta} z_{p\delta}^{\tau t} - 1 \quad (D.25e)$$

$$\sum_{p,\delta} d_{p\delta}^{\tau t} + \sum_{q,p} h_{qp\delta} \cdot u_{qp\delta}^{\tau t} \leq d^{\tau t} \quad [m=(v, \tau', m)] \quad (D.25f)$$

$$\sum_t d^{\tau t} \leq D^{\tau} \quad (D.25g)$$

$$d_{p\delta}^{\tau t}, z_{p\delta}^{\tau t}, u_{qp\delta}^{\tau t}, x_p^{\tau t}, l_p^{\tau t} \geq 0 \quad (D.25h)$$

für alle $\tau; t=2, \dots, T; p, q=1, \dots, P; \text{ für alle } m$

Zusätzlich sind für die Periodenübergänge die Produktgleichungen D.26 und die Umrüstbedingungen D.27 einzuführen:

$$\begin{aligned} \sum_{m,\delta} \psi_{p\delta} \cdot \rho_{p\delta} \cdot d_{p\delta}^{\tau 1} = \\ \sum_{q=1}^P \alpha_{pq}^0 \cdot \sum_{m,\delta} \rho_{q\delta} \cdot d_{q\delta}^{\tau 1} + x_p^{\tau 1} + l_p^{\tau 1} - l_p^{\tau-1, T} \\ \tau=1, \dots, \Omega; \text{ für alle } p \end{aligned} \quad (D.26)$$

$$u_{qp\delta}^{\tau 1} \geq \sum_{\delta} z_{q\delta}^{\tau-1, T} + \sum_{\delta} z_{p\delta}^{\tau 1} - 1 \quad \tau=1, \dots, \Omega; q, p=1, \dots, P; \text{ für alle } m \quad (D.27)$$

Der Einsatz von Arbeitskräften und maschinellen Anlagen ist in diesem umfassenden Produktionsmodell explizit abgebildet. Deshalb müssen nur noch Gleichungen für Roh- und Betriebsstoffe angefügt werden. In Anlehnung an die Einsatzfunktionen C.78 und C.79⁵ ergeben sich für die vom r-ten Rohstoff

⁵ Vgl. Seite 173 f.

256 D. Interdependenzen bei veränderlicher Struktur der Produktiveinheiten

im Intervall τt beschaffte Menge $e_r^{\tau t}$ unter Berücksichtigung seiner Absatzvariablen $x_r^{\tau t}$ und seiner Lagerbestandsvariablen $l_r^{\tau t}$ Gleichungen der Art D.28⁶:

$$e_r^{\tau t} = \sum_p \alpha_{rp}^o \cdot \sum_{m, \delta} \rho_{pm\delta} \cdot d_{pm\delta}^{\tau t} + x_r^{\tau t} + l_r^{\tau t} - l_r^{\tau, t-1} \quad (D.28)$$

$\tau = 1, \dots, \Omega; t = 1, \dots, T; \text{ für alle } r$

Für die Beschaffungsmenge $e_b^{\tau t}$ eines Betriebsstoffes b im t-ten Intervall der Periode τ erhält man unter Verwendung der Koeffizienten $\beta_{bm\delta}$ bzw. γ_{bm} für die Betriebsstoffverbrauchsmenge während der Fertigungs- bzw. Rüstzeiten sowie der Lagerbestandsvariablen $l_b^{\tau t}$ und der Absatzvariablen $x_b^{\tau t}$ die Beziehung D.29:

$$e_b^{\tau t} = \sum_{m, \delta, p} \beta_{bm\delta} \cdot d_{pm\delta}^{\tau t} +$$

$$\sum_{m, q, p} \gamma_{bm} \cdot h_{qpv} \cdot u_{qpm}^{\tau t} + x_b^{\tau t} + l_b^{\tau t} - l_b^{\tau, t-1} \quad (D.29)$$

$\{m = (v, \tau'', m)\}$
 $\tau = 1, \dots, \Omega; t = 1, \dots, T; \text{ für alle } b$

Auch die Beschaffungs-, Absatz- und Lagerbestandsvariablen der Roh- und Betriebsstoffe dürfen keine negativen Werte annehmen:

$$e_r^{\tau t}, e_b^{\tau t}, x_r^{\tau t}, x_b^{\tau t}, l_r^{\tau t}, l_b^{\tau t} \geq 0 \quad \text{für alle } r, b, \tau, t \quad (D.30)$$

In den Gleichungen D.28 bzw. D.29 könnte zusätzlich berücksichtigt werden, ob eine Beschaffung von Rohstoffen oder Betriebsstoffen lediglich zu Beginn bestimmter Intervalle (z. B. wöchentlich) erfolgen kann.

Schließlich sind die Absatzmengen an Produkten p sowie Rohstoffen r bzw. Betriebsstoffen b entsprechend der Nachfragesituation beschränkt. Vereinfachend kann man davon ausgehen, daß für jede Periode und jede Güterart Obergrenzen \bar{N}_p^τ , \bar{N}_r^τ bzw. \bar{N}_b^τ sowie Untergrenzen N_p^τ , N_r^τ bzw. N_b^τ der Absatzmengen gegeben sind. Die Absatzmöglichkeiten lassen sich dann entsprechend C.88 durch die Nebenbedingungen D.31 ausdrücken:

$$N_p^\tau \leq \sum_t x_p^{\tau t} \leq \bar{N}_p^\tau \quad \text{für alle } p, \tau$$

$$N_r^\tau \leq \sum_t x_r^{\tau t} \leq \bar{N}_r^\tau \quad \text{für alle } r, \tau \quad (D.31)$$

$$N_b^\tau \leq \sum_t x_b^{\tau t} \leq \bar{N}_b^\tau \quad \text{für alle } b, \tau$$

⁶ Für die Periodenübergänge sind entsprechende Gleichungen aufzustellen.

Das entwickelte umfassende Produktionsmodell läßt sich in mehrfacher Hinsicht erweitern. Neubesetzungen einer Stelle sowie Versetzungen werden vor allem durch Anlernzeiten erschwert, während der die Arbeitskräfte in ihre Tätigkeit eingewiesen werden und die auszuführenden Verrichtungen lernen. In einem Modell der Stellenbesetzung bzw. des Arbeitskräfteeinsatzes erscheint daher die Berücksichtigung von Anlernprozessen notwendig.

Man kann von der Hypothese ausgehen, daß zur Einweisung einer Arbeitskraft in die Bedienung einer Anlage des Funktionstyps v ϕ_v Zeiteinheiten benötigt werden. Deshalb muß ihre Einsatzzeit $r_{am}^{\tau 1}$ entsprechend den Nebenbedingungen D.32 um diese Einweisungszeit erweitert werden:

$$\begin{aligned} r_{am}^{\tau 1} &\geq \sum_{q,p} h_{qpv} \cdot u_{qpm}^{\tau 1} + \sum_{p,\delta} \epsilon_{pv} \cdot d_{p\delta}^{\tau 1} + \sum_{p,\delta} (\mu_v + n_v) \cdot d_{p\delta}^{\tau 1} \\ &+ (1-z_{am}^{\tau-1}) \cdot \phi_v - (1-z_{am}^{\tau}) \cdot D^{\tau} \quad (D.32) \end{aligned}$$

für alle $\tau, a, m = (v, \tau'', m)$

Die Anlernprozesse werden noch präziser erfaßt, wenn man untersucht, auf welche Koeffizienten des Arbeitseinsatzes sie sich auswirken. Man kann davon ausgehen, daß der Übungsgrad in den Einsatzfunktionen D.24a für menschliche Arbeit die Rüstzeiten h_{qpv} sowie die Koeffizienten ϵ_{pv} für den Zeitbedarf zum Ein- und Ausspannen der Werkstücke bzw. zur Anlagenüberwachung beeinflußt. Aufgrund empirischer Erhebungen ist für jeden Anlagentyp eine Lernkurve⁷ zu ermitteln, aus der sich die Veränderungen dieser Größen während der Einarbeitungszeit ergeben. Vereinfachend kann man bei Anlernprozessen der Stellenbesetzung unterstellen, daß die Lernraten lediglich von der Zeitdauer des Einsatzes an einer Anlage und nicht von der Art der einzelnen Arbeitsgänge abhängen⁸. Die in den Einsatzfunktionen enthaltenen Koeffizienten h_{qpv} und ϵ_{pv} gelten bei voller Geübtheit. Während der Anlernzeiten erhöhen sie sich um bestimmte Werte. Näherungsweise kann man aus den Lernkurven für die aufeinanderfolgenden Intervalle $\tau 1, \tau 2, \dots$ während der Anlernzeit Zuschlagskoeffizienten für die Rüstzeiten $\Delta h_{qpv}^1, \Delta h_{qpv}^2, \dots$ ⁹ sowie für die Tätigkeitszeiten $\Delta \epsilon_{pv}^1, \Delta \epsilon_{pv}^2, \dots$ bis zum Erreichen der vollen Geübtheit herleiten¹⁰. Unter Berücksichtigung dieser Zuschlagskoeffizienten sind die Einsatzfunktionen D.24a für jedes Intervall während der Einarbeitungszeit zu erweitern. Man kann annehmen, daß sich eine Arbeitskraft einarbeiten muß, wenn sie in der vorher-

⁷ Vgl. Baur [Wege] 54 ff.; Domsch [Personalplanung] 50 ff.; Müller-Hagedorn [Personalbestandsplanung] 26 ff.; Zierul [Arbeit] 71 ff.

⁸ Die Analyse ist daher weniger präzise als bei Zierul [Arbeit] 212 ff.

⁹ Die hochgestellten Indices kennzeichnen Intervalle und keine Potenzen.

¹⁰ Die Lernkurve wird damit durch eine Treppenfunktion approximiert. Für die Ermittlung dieser Zuschlagswerte erweist es sich als zweckmäßig, die Intervalldauern vorzugeben und nicht als Modellvariablen zu behandeln.

gehenden Periode $\tau - 1$ nicht an derselben Anlage tätig war. Dann erhält man beispielsweise für das erste Intervall $t = 1$ der Periode die erweiterte Einsatzfunktion D.24b¹¹:

$$\begin{aligned} z_{am}^{\tau-1} \geq & \sum_{q,p} h_{qpv} \cdot u_{qp\delta}^{\tau-1} + \sum_{p,\delta} \epsilon_{pv} \cdot d_{p\delta}^{\tau-1} + \sum_{p,\delta} (u_v + n_v) \cdot d_{p\delta}^{\tau-1} \\ & + (1-z_{am}^{\tau-1}) \cdot \left(\sum_{q,p} \Delta h_{qpv}^1 \cdot u_{qp\delta}^{\tau-1} + \sum_{p,\delta} \Delta \epsilon_{pv}^1 \cdot d_{p\delta}^{\tau-1} \right) \\ & - (1-z_{am}^{\tau}) \cdot D^{\tau} \end{aligned} \quad \text{für alle } \tau, a, m = (v, \tau'', \delta) \quad (\text{D. 24b})$$

Die Erhöhungen der Rüst- und Tätigkeitszeiten werden in Beziehung D.24b nur wirksam, wenn die Zuordnungsvariable $z_{am}^{\tau-1}$ den Wert Null annimmt. Durch die Einbeziehung dieser Zuordnungsvariablen werden die Einsatzfunktionen der Arbeitskräfte nichtlinear. Entsprechende erweiterte Einsatzfunktionen sind auch für die nachfolgenden Intervalle aufzustellen, bis volle Geübtheit erreicht ist. Die Nebenbedingungen D.25f für die Einsatzzeiten der Anlagen müssen in gleicher Weise um die erhöhten Rüstzeiten erweitert werden. Lernprozesse können darüber hinaus die Ausschußkoeffizienten sowie die Produktionsgeschwindigkeiten¹² beeinflussen. Diese Wirkungen können durch entsprechende Glieder für erhöhten Ausschuß und verminderte Produktionsgeschwindigkeiten während der Anlernzeit in den Produktgleichungen D.25a und den Rohstoffgleichungen D.28 berücksichtigt werden. Ein solcher Einfluß von Lernprozessen kann vor allem bei wenig mechanisierten Tätigkeiten nicht vernachlässigt werden.

Das umfassende Produktionsmodell läßt sich ferner durch eine Differenzierung der Koeffizienten für Produktionsgeschwindigkeiten und Ausschuß nach dem Anlagenalter erweitern. Beispielsweise können sich diese Koeffizienten im Ablauf der Perioden verschlechtern, sofern keine Instandhaltungsmaßnahmen vorgenommen werden. Die Arbeitskräfte können nach zusätzlichen Qualifikationsmerkmalen näher gekennzeichnet werden. Darüber hinaus könnte man annehmen, daß in einer Stelle Personen mit unterschiedlicher Qualifikation einsetzbar sind und ihre Qualifikation für die Ausprägung der Produktionsgeschwindigkeiten sowie des Ausschusses bestimmt ist.

¹¹ Aufgrund der Konvention über die Numerierung der Anlagen auf Seite 249 treten nach D.26a auch dann keine Anlernzeiten auf, wenn eine Arbeitskraft an einer anderen Anlage desselben Funktionstyps v und derselben Anschaffungsperiode τ'' eingesetzt wird. Die Anschaffungsperiode τ'' kann dabei als maßgebend für den technischen Stand der Anlage angesehen werden.

¹² Vgl. Baur [Wege] 156 f.; Domsch [Personalplanung] 52 f.; Schuster [Fertigung] 22; Vazsonyi [Planungsrechnung] 346.

4. Möglichkeiten zur Formulierung einer Zielfunktion des umfassenden Produktionsmodells

In dem umfassenden Produktionsmodell werden Art, Umfang und Zeitpunkt des Einsatzes, der Ausbringung und Verwertung der wichtigsten Güterarten eines Produktionsprozesses unmittelbar abgebildet. Hierdurch wird es möglich, die entstehenden Kosten und Erlöse bzw. Leistungen sowie Ausgaben und Einnahmen unmittelbar den Größen zuzurechnen, von denen sie bewirkt werden.

Als Beispiel wird in Anlehnung an *Herbert Jacob*¹ eine Deckungsbeitragsfunktion formuliert. Der durch den Produktionsprozeß entstehende Deckungsbeitrag des Betrachtungs- oder Planungszeitraums setzt sich aus den Erlösen E, den variablen Vertriebskosten K^V, den variablen Kosten der Roh- und Betriebsstoffbeschaffung K^S, den Kosten der Lagerhaltung K^L sowie den Kosten K^A für menschlichen und K^M für maschinellen Arbeitseinsatz zusammen. Die zu maximierende Deckungsbeitragsfunktion Z lautet somit:

$$Z = E - K^V - K^S - K^L - K^A - K^M \quad (D.33)$$

Die verschiedenen Glieder der Deckungsbeitragsfunktion D.33 können mit unterschiedlichem Präzisionsgrad bestimmt werden. Vereinfachend wird angenommen, daß Preis- und Lohnänderungen höchstens an den Periodenübergängen erfolgen. Da sich die Planung über einen längeren Zeitraum erstreckt, werden alle Bewertungsgrößen auf den Beginn des Planungszeitraums abgezinst². Ferner wird vereinfachend unterstellt, daß die bewerteten Lagerbestände zu Beginn und am Ende des Betrachtungszeitraums übereinstimmen und daher nicht in die Zielfunktion aufzunehmen sind.

Der gesamte Erlös setzt sich einerseits aus den mit abgezinster Nettostückerkosten $\tilde{\pi}_p^t$, $\tilde{\pi}_r^t$ bzw. $\tilde{\pi}_b^t$ bewerteten Absatzmengen an Produkten x_p^t , an Rohstoffen x_r^t sowie an Betriebsstoffen x_b^t jedes Intervalls t in jeder Periode τ zusammen. Andererseits erhöht er sich um die Liquidationserlöse maschinerlicher Anlagen. Wenn für jede zu Beginn der Periode τ zu verkaufende Anlage vom Funktionstyp v, die in der Periode τ' angeschafft worden ist, ein abgezinster Liquidationserlös $\tilde{L}_{v\tau}^t$ prognostiziert bzw. geschätzt werden kann, läßt sich der gesamte Erlös des Betrachtungszeitraums durch Gleichung D.34 ermitteln:

$$E = \sum_{\tau, t} \left[\sum_p \tilde{\pi}_p^t \cdot x_p^t + \sum_r \tilde{\pi}_r^t \cdot x_r^t + \sum_b \tilde{\pi}_b^t \cdot x_b^t + \sum_{\tau'=0}^{\tau-1} \sum_v \tilde{L}_{v\tau'}^t \cdot \tilde{M}_{v\tau'}^t \right] \quad (D.34)$$

¹ Jacob [Entwicklungen] 34 ff.; es handelt sich um eine Deckungsbeitragsfunktion, weil eine Reihe von Fixkosten wie die Meistergehälter nicht in D.33 enthalten sind.

² Die Abzinsung wird durch das Zeichen „~“ gekennzeichnet. H. Jacob und H. Hax haben gezeigt, wie sich ein Ansatz abgezinster Beträge in der Zielfunktion durch die Berücksichtigung der Wiederanlagemöglichkeiten von Überschüssen weitgehend ausschalten läßt. Jacob [Entwicklungen] 59 ff.; Jacob [Investitionsplanung] 104 f.; Hax, H. [Investitionsplanung] 435 ff.; Hax, H. [Investitionstheorie] 69 ff.

Die variablen Vertriebskosten K^V erhält man durch Multiplikation der Absatzmengen von Produkten, Roh- und Betriebsstoffen mit den abgezinsten Vertriebskosten je Stück $\tilde{k}_p^{v,r}$, $\tilde{k}_r^{v,r}$ bzw. $\tilde{k}_b^{v,r}$ und Summation über sämtliche Perioden und Intervalle:

$$K^V = \sum_{\tau,t} [\sum_p \tilde{k}_p^{v,\tau} \cdot x_p^{\tau t} + \sum_r \tilde{k}_r^{v,\tau} \cdot x_r^{\tau t} + \sum_b \tilde{k}_b^{v,\tau} \cdot x_b^{\tau t}] \quad (D.35)$$

In dem entwickelten umfassenden Produktionsmodell sind die wichtigsten Bestimmungsgrößen der Fertigungskosten als Variablen enthalten³. Diesen Variablen lassen sich die Stoffkosten sowie die Kosten des menschlichen und maschinellen Arbeitseinsatzes direkt zurechnen. Damit entfällt die Notwendigkeit, einen Fertigungskostensatz durch Verteilung dieser Kostenarten auf die Fertigungszeiteinheiten zu bestimmen.

Da in die Kosten der Lagerhaltung auch die Kosten des Roh- und Betriebsstofflagers einbezogen werden, gewinnt man die Stoffkosten K^S durch Bewertung der Beschaffungsmengen $e_r^{\tau t}$ bzw. $e_b^{\tau t}$ der Roh- bzw. Betriebsstoffe mit den abgezinsten variablen Beschaffungskosten je Stück $\tilde{k}_r^{s,r}$ bzw. $\tilde{k}_b^{s,r}$ entsprechend Gleichung D.36:

$$K^S = \sum_{\tau,t} [\sum_r \tilde{k}_r^{s,\tau} \cdot e_r^{\tau t} + \sum_b \tilde{k}_b^{s,\tau} \cdot e_b^{\tau t}] \quad (D.36)$$

Bei den Kosten der Lagerhaltung wird angenommen, daß sich für jede gelagerte Produktart sowie Roh- und Betriebsstoffart ein abgezinster Lager- und Zinskostensatz $\tilde{k}_p^{l,r}$, $\tilde{k}_r^{l,r}$ bzw. $\tilde{k}_b^{l,r}$ vorgeben läßt. Dann können die Kosten der Lagerung K^L durch Bewertung der durchschnittlichen Lagerbestände mit den Lager- und Zinskostensätzen nach Gleichung D.37 ermittelt werden:

$$\begin{aligned} K^L = & \sum_{\tau,t} \underbrace{\frac{1}{2} \cdot d^{\tau t}}_{\tilde{l}_p} \cdot [\sum_p \tilde{k}_p^{l,\tau} \cdot (l_p^{\tau t} - l_p^{\tau, t-1}) + \sum_r \tilde{k}_r^{l,\tau} \cdot (l_r^{\tau t} - l_r^{\tau, t-1}) \\ & + \sum_b \tilde{k}_b^{l,\tau} \cdot (l_b^{\tau t} - l_b^{\tau, t-1})] \end{aligned} \quad (D.37)$$

Im Unterschied zu den in Abschnitt C.II entwickelten Modellen sind in dem umfassenden Produktionsmodell insbesondere die wichtigsten Bestimmungsgrößen der Kosten für den Einsatz menschlicher Arbeitskräfte und maschinel- ler Anlagen enthalten.

Die Höhe der Personalkosten⁴ hängt von der Anzahl der Einstellungen \hat{A}_{ker} , der Entlassungen \bar{A}_{ker}^t , der freiwilligen Arbeitnehmerkündigungen f_{ker} , dem

³ Bei Jacob sind die Bestimmungsgrößen der Fertigungskosten nicht im Modell enthalten. Deshalb muß er einen fertigungszeitabhängigen Fertigungskostensatz als vorgegeben unterstellen. Vgl. Jacob [Entwicklungen] 34 f.

⁴ Vgl. Müller-Hagedorn [Personalbestandsplanung] 22 f. und 68 ff.; Franke [Personalbedarfsplanung] 39.

Bestand an Arbeitskräften $A_{ke\tau}^r$ in jeder Periode sowie von der Lohnform ab. Man kann davon ausgehen, daß die Anwerbung und Einstellung einer Arbeitskraft in Periode τ Kosten in Höhe von $k^{z,\tau}$ verursacht. Die Entlassung einer Arbeitskraft führt zu Kosten von $k^{w,\tau}$, während durch die freiwillige Kündigung Kosten in Höhe von $k^{f,\tau}$ je Arbeitskraft entstehen⁵. Ferner kann im einfachsten Fall vorausgesetzt werden, daß alle Arbeitskräfte Zeitlohn empfangen. Dann läßt sich für jedes Lebensalter k , jede Qualifikationsgruppe e und jede Periode τ aus den Lohnsätzen ermitteln, welche Lohnkosten $k_{ke}^{a,\tau}$ für eine Arbeitskraft der Altersgruppe k und der Qualifikationsgruppe e pro Periode anfallen. Mit Hilfe der abgezinsten Personalkosten lassen sich die gesamten Personalkosten K^a entsprechend Gleichung D.38 bestimmen:

$$K^a = \sum_{\tau'=1}^{\Omega} \sum_{k',e} [\tilde{k}^{z,\tau'} \cdot \hat{A}_{k'e\tau'} + \sum_{\tau=0}^{\tau} \sum_{k,e} [\tilde{k}^{w,\tau} \cdot \bar{A}_{ke\tau}^r + \tilde{k}^{f,\tau} \cdot f_{ke\tau}^r + \tilde{k}_{ke}^{a,\tau} \cdot A_{ke\tau}^r]] \quad (D.38)$$

Die Kosten der eingesetzten maschinellen Anlagen umfassen⁶ zum einen die abgezinsten anteiligen Anschaffungskosten \tilde{k}_{vt}^b , die im Betrachtungszeitraum auf jede in Periode τ'' beschaffte Anlage des Funktionstyps v entfallen⁷. Zum andern schließen sie in jeder Periode τ sonstige abgezinste Anlagenkosten $\tilde{k}_{vt}^{F,\tau}$, ein, die für eine in Periode τ'' beschaffte Anlage des Funktionstyps v beispielsweise zur Wartung und Pflege entstehen. Multipliziert man diese abgezinsten Koeffizienten mit den Variablen \hat{M}_{vt}^b der Anlagenbeschaffung bzw. den Variablen M_{vt}^r des Anlagenbestands, so erhält man nach Summation entsprechend Gleichung D.39 die Kosten K^m für den Anlageneinsatz im Produktionsprozeß⁸:

$$K^m = \sum_{\tau''=0}^{\Omega} \sum_v [\tilde{k}_{vt}^b \cdot \hat{M}_{vt}^b + \sum_{\tau=1}^{\tau} \sum_v [\tilde{k}_{vt}^{F,\tau} \cdot M_{vt}^r]] \quad (D.39)$$

Die Zielfunktion läßt sich durch die Berücksichtigung anderer Lohnformen erweitern. Das umfassende Produktionsmodell enthält die wichtigsten Variablen des menschlichen Arbeitseinsatzes, die zur Bestimmung der Personalkosten bei Stücklohn und Prämienlöhnen heranzuziehen sind. Durch die Einführung von Lagerraumbedingungen sowie von Funktionen des Arbeitskräfteein-

⁵ Die Kostenkoeffizienten der Einstellung können zusätzlich nach Qualifikationsgruppen, die der Entlassung und der Kündigung darüber hinaus nach Altersgruppen und der Dauer der Betriebszugehörigkeit differenziert werden.

⁶ Jacob [Entwicklungen] 34 f.

⁷ In diesen Kostenkoeffizienten ist der Qualifikationsindex e nicht aufzuführen, da jedem Funktionstyp v ein e eindeutig zugeordnet ist.

⁸ Die zu Beginn des Betrachtungszeitraums vorhandenen Anlagen werden der Anschaffungsperiode $\tau'=0$ zugerechnet und mit ihren Restwerten im Kalkulationszeitpunkt angesetzt. Zu diesem Vorgehen vgl. Jacob [Entwicklungen] 35.

satzes in den Lagern ist darüber hinaus eine präzisere Ermittlung der Lagerkosten möglich.

Das entwickelte Produktionsmodell umfaßt in den Beschaffungsvariablen e_r^t bzw. e_b^t für Roh- bzw. Betriebsstoffe und \bar{M}_{vr}^t für maschinelle Anlagen, den Variablen \bar{A}_{ker}^t der Einstellung, \bar{A}_{ker}^t der Entlassung, f_{ker}^t der freiwilligen Kündigung und A_{ker}^t des Bestands von Arbeitskräften sowie den Variablen des Anlagenverkaufs \bar{M}_{vr}^t und den Absatzvariablen x_p^{rt} , x_r^{rt} bzw. x_b^{rt} die Größen, von denen die wichtigsten Ausgaben und Einnahmen des Produktionsprozesses abhängen. Die Unterteilung in Perioden t sowie Intervalle r je Periode ermöglicht die Berücksichtigung präziser Hypothesen über das Zahlungsverhalten. Deshalb lassen sich die Einnahmen und Ausgaben für jede Periode und jedes Intervall verhältnismäßig genau erfassen und entsprechende Finanzierungsnebenbedingungen aufstellen. Darüber hinaus können auf der Basis des umfassenden Produktionsmodells das in jedem Intervall durch den Produktionsprozeß gebundene Kapital und damit die Zinskosten bestimmt werden. Da die Zeitpunkte des Gütereinsatzes und des Absatzes sowie die Lager- und Durchlaufzeiten im Modell abgebildet sind, ist es dann nicht erforderlich, durchschnittliche Werte für die Zeitdauer der Kapitalbindung⁹ anzusetzen.

Durch die Abbildung der Interdependenzen zwischen Gütereinsatz, Produktionsablauf, Produktionsprogramm und der Struktur der Produktiveinheiten schließt das Produktionsmodell die wichtigsten Bestimmungsgrößen der Kosten und Leistungen bzw. Erlöse sowie Ausgaben und Einnahmen des Produktionsprozesses ein. Damit läßt sich eine Vorgabe von Durchschnittsgrößen weitgehend vermeiden, deren Ermittlung im zugehörigen Rechnungssystem schwierige Verteilungsprobleme aufwirft. Die Vorgabe durchschnittlicher Kosten- oder Ausgabensätze ist insbesondere dann problematisch, wenn die Optimallösungen gegenüber Änderungen dieser Größen sehr empfindlich sind¹⁰. Gleichermaßen ist es problematisch, in Investitionsmodellen durchschnittliche Durchlaufzeiten und Kapitalbindungsduern anzusetzen, da die Durchlaufzeiten der Produkte vom verfügbaren Anlagenbestand abhängig sind.

III. Analyse der wichtigsten Interdependenzen zwischen der Bildung von Produktiveinheiten und der Strukturierung des Produktionsvollzugs

Auf der Grundlage des entwickelten umfassenden Produktionsmodells können die wichtigsten Interdependenzen zwischen den Strukturierungstatbeständen der Produktionsbereitschaft und des Produktionsvollzugs herausgearbeitet werden. Aus dieser Analyse wird ersichtlich, welche Beziehungen bei iso-

⁹ Solche Durchschnittswerte enthält das Modell von Jacob in einer Finanzierungsnebenbedingung. Jacob [Entwicklungen] 38 ff.

¹⁰ Pack weist z. B. auf die hohe Elastizität der optimalen Losgröße gegenüber Stückkostenänderungen hin. Pack [Elastizität] 469.

lierter Entscheidung über die Ausstattung mit Anlagen sowie Arbeitskräften, die Stellenbildung sowie -besetzung, das Produktionsprogramm und den Produktionsablauf nicht bzw. nicht genügend erfaßt werden.

In der Struktur der Produktiveinheiten schlagen sich die Entscheidungen über die Ausstattung (des Produktionsbereichs) mit Arbeitskräften und Anlagen, die Stellenbildung und den Arbeitskräfteeinsatz nieder. Diese Tatbestände bilden wichtige Bestimmungsgrößen für die Strukturierung des Produktionsvollzugs. So hängt der Handlungsspielraum bei Festlegung der Arbeitsverteilung, der Gangfolgen sowie der Intensitäten von den verfügbaren Produktiveinheiten und deren Leistungsfähigkeiten ab. Die Möglichkeiten der Arbeitsverteilung sind daran erkennbar, welche Produktiveinheiten bzw. Anlagen m eine bestimmte Produktart p bearbeiten können. Bei diesen Produktiveinheiten sind die Koeffizienten ρ der Produktionsgeschwindigkeiten für die Produktart p größer als Null. Aus der jeweiligen Arbeitsverteilung ergibt sich, für welche Produkte bzw. Aufträge die Gangfolgen einer Produktiveinheit festzulegen sind. Die qualitative Leistungsfähigkeit der Produktiveinheiten kommt ferner in den von ihnen realisierbaren Intensitätsgraden δ , den (gegebenenfalls) reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten h_{qpv} und den Ausschußkoeffizienten Ψ zum Ausdruck.

Die Art der von einer Produktiveinheit durchführbaren Verrichtungen, der Bereich ihrer intensitätsmäßigen Anpassungsmöglichkeiten und die Ausschußkoeffizienten sind um so stärker durch die in ihr eingesetzte maschinelle Anlage bestimmt, je stärker die Arbeitsgänge mechanisiert sind. Dagegen sind diese Größen bei geringem Mechanisierungsgrad in erster Linie von den Eigenschaften der in einer Produktiveinheit tätigen Arbeitskraft abhängig. Jedoch können die Stellenbildung und der Arbeitskräfteeinsatz auch bei hoch-mechanisierten Produktionsprozessen den Handlungsräum des Produktionsvollzugs beeinflussen¹. So können entsprechend den Einsatzzeitbeschränkungen D.25 für menschliche Arbeit Wartezeiten für Produkte und Leerzeiten für Anlagen auftreten, weil eine Arbeitskraft mehrere Anlagen zu bedienen hat. Sie kann in jedem Intervall nur eine begrenzte Zeit an den einzelnen Anlagen tätig sein. Darüber hinaus können – im Modell nicht erfaßte – Warte- und Leerzeiten entstehen, weil eine gleichzeitige Bedienung mehrerer Anlagen undurchführbar ist.

Nach den erweiterten Einsatzfunktionen D.26a beeinflußt der Arbeitskräfteeinsatz den Fertigungsablauf, wenn sich die Bedienungszeiten der Anlagen innerhalb von Anlernzeiten erhöhen. Ferner können bei Neubesetzungen einer Stelle Leer- und Wartezeiten für die Einweisung der Arbeitskräfte, erhöhter Ausschuß und vermindernde Produktionsgeschwindigkeiten auftreten. Vor allem bei gering mechanisierter Fertigung sind die Arbeitsintensitäten und die Ausschußkoeffizienten von individuellen Eigenschaften der Arbeitskräfte ab-

¹ Hackstein/Kleensang [Auswirkungen] 542.

hängig, die in der Differenzierung nach Qualifikationsgruppen e nicht genügend zum Ausdruck kommen. Ein zusätzlicher Einfluß kann unter anderem vom Lebensalter, von der Dauer der Betriebszugehörigkeit sowie vom Ausbildungsstand ausgehen. Diese Merkmale können sich auch auf die Dauer von Lernprozessen, die persönlichen Verteilzeiten, die Abwesenheitsraten wegen Krankheit oder Unfall sowie die Beförderungen und die Arbeitnehmerkündigungen auswirken. Das Wirksamwerden dieser individuellen Eigenschaften in den Produktiveinheiten wird durch den Einsatz der einzelnen Arbeitskräfte bestimmt.

Die Wartezeiten der Produkte und die Leerzeiten der Produktiveinheiten werden nicht nur durch die Strukturierung des Produktionsablaufs determiniert. Sie richten sich vor allem nach den verfügbaren Kapazitäten und damit nach den Ausstattungsentscheidungen. Beispielsweise können sich durch den Einsatz zusätzlicher Produktiveinheiten in einem Engpaß die Durchlaufzeiten und die Kapazitätsauslastung erheblich verändern. Deshalb bedeutet es eine starke Vereinfachung realer Zusammenhänge, für unterschiedliche Ausstattungsalternativen gleiche (durchschnittliche) Durchlaufzeiten² sowie ablaufbedingte Leerzeiten³ vorzugeben.

Der Abhängigkeit des Produktionsablaufs von der Strukturierung der Produktiveinheiten steht gegenüber, daß die Beanspruchung der Produktiveinheiten von der Strukturierung des Produktionsablaufs bestimmt wird. In dem entwickelten Produktionsmodell wird die Auslastung der Produktiveinheiten in den Einsatzzeitbeschränkungen D.27f für maschinelle Anlagen und D.25 in Verbindung mit D.26 für Arbeitskräfte abgebildet. Aus ihnen ist ersichtlich, daß sich die Auslastung einer Anlage m aus den in einem Intervall angefallenen Rüstzeiten $h_{qpv} \cdot u_{qpm}^t$, sowie den Fertigungszeiten d_{pm}^t der auf ihr erzeugten Produkte q bzw. p ergibt. Die Arbeitsverteilung, die Losgrößen, die Gangfolgen und die Leistungsbestimmung sind für die Ausprägung dieser Variablen maßgebend. Die Auslastung einer Arbeitskraft hängt darüber hinaus von der Stellenbildung und dem Arbeitskräfteeinsatz ab. Diese Strukturierungstatbestände werden durch die Zuordnungsvariablen z_{am}^t erfaßt. Art und Dauer der Tätigkeit von Arbeitskräften werden durch die Koeffizienten ϵ_{pv} , μ_v und η_v wiedergegeben. Der Ablauf der von einer Arbeitskraft in einer Stelle durchzuführenden Verrichtungen sowie die aus ihm folgenden Wegzeiten werden ebenfalls von den Entscheidungen über Arbeitsverteilung, Losgrößen, Gangfolgen und Arbeitsintensität beeinflußt.

Der Bedarf an menschlicher sowie maschineller Arbeit je Intervall bzw. Periode und die zu seiner Deckung erforderliche Ausstattung mit Arbeitskräften sowie maschinellen Anlagen sind auch von den laufenden Entscheidungen über den Produktionsvollzug abhängig. Eine Bestimmung des Bedarfs an Ar-

² Vgl. Jacob [Entwicklungen] 38 ff.

³ Vgl. Vazsonyi [Planungsrechnung] 375; Rosenberg [Investitionsplanung] 32.

beitskräften oder maschinellen Anlagen allein anhand des geplanten Produktionsprogramms bzw. der gesamten Fertigungszeiten ist daher ungenau. Bei einer derartigen Bedarfsermittlung werden die Rüstzeiten, die gangfolgeabhängigen Leerzeiten sowie die Zusammensetzung des Zeitbedarfs der Arbeitskräfte aus Bedienungs-, Verteil- und Erholungszeiten vernachlässigt. Ferner wirkt sich die Strukturierung des Produktionsvollzugs auf die Möglichkeiten zur Zusammenfassung mehrerer Produktiveinheiten zu einer Stelle aus. Wenn beispielsweise auf jeder Anlage einer Stelle große Lose gefertigt werden, sind die Rüstzeiten nicht sehr hoch. Dann kann eine Arbeitskraft mehr Anlagen bedienen als bei kleinen Losen mit entsprechend zahlreichen Umrüstungen.

Für die Bildung der Produktiveinheiten sind auch die Interdependenzen zwischen der Ausstattung mit Arbeitskräften und der Ausstattung mit maschinellen Anlagen maßgebend. Aus dem Mechanisierungsgrad der Arbeitsgänge ergibt sich, in welchem Umfang menschliche Arbeitskräfte sowie maschinelle Anlagen in den Produktiveinheiten zusammenwirken und inwieweit menschliche oder maschinelle Arbeit vorherrscht. Die räumliche Anordnung der Anlagen ist bestimmd für den Organisationstyp der Fertigung. Jede maschinelle Anlage stellt aufgrund ihrer technischen Merkmale bestimmte Anforderungen an die Qualifikation der an ihr eingesetzten Arbeitskraft. Deshalb müssen die Leistungsanforderungen und die qualitativen Eigenschaften der Arbeitskräfte aufeinander abgestimmt sein. Die Art der vorhandenen und anzuschaffenden Anlagen wirkt sich damit einerseits auf das geforderte Qualifikationsniveau neu einzustellender Arbeitskräfte, die Durchführung von Schulungsmaßnahmen sowie die Dauer der Anlernprozesse aus. Andererseits werden die Möglichkeiten des Anlageneinsatzes sowie der Ausführung nichtmechanisierter Arbeitsgänge von den Qualifikationen der vorhandenen bzw. einstellbaren Arbeitskräfte determiniert. Daher sind die qualitative Leistungsfähigkeit der im Produktionsprozeß eingesetzten Arbeitskräfte und maschinellen Anlagen maßgebend für die Art der durchführbaren Arbeitsgänge und der herstellbaren Produkte.

Als Ergebnis der Analyse kann somit festgehalten werden, daß sich die Strukturierungstatbestände der Produktionsbereitschaft und des Produktionsvollzugs gegenseitig beeinflussen. Durch eine sukzessive Betrachtung und Planung dieser Strukturierungstatbestände werden wichtige Interdependenzen vernachlässigt, die in der Realität wirksam sind. Die Vielfalt und Struktur dieser Interdependenzen wird auch aus der abschließenden Übersicht von Abbildung 36 auf Seite 266 ersichtlich. In ihr ist angegeben, durch welche Elemente des umfassenden Produktionsmodells die einzelnen Beziehungsarten wiedergegeben werden.

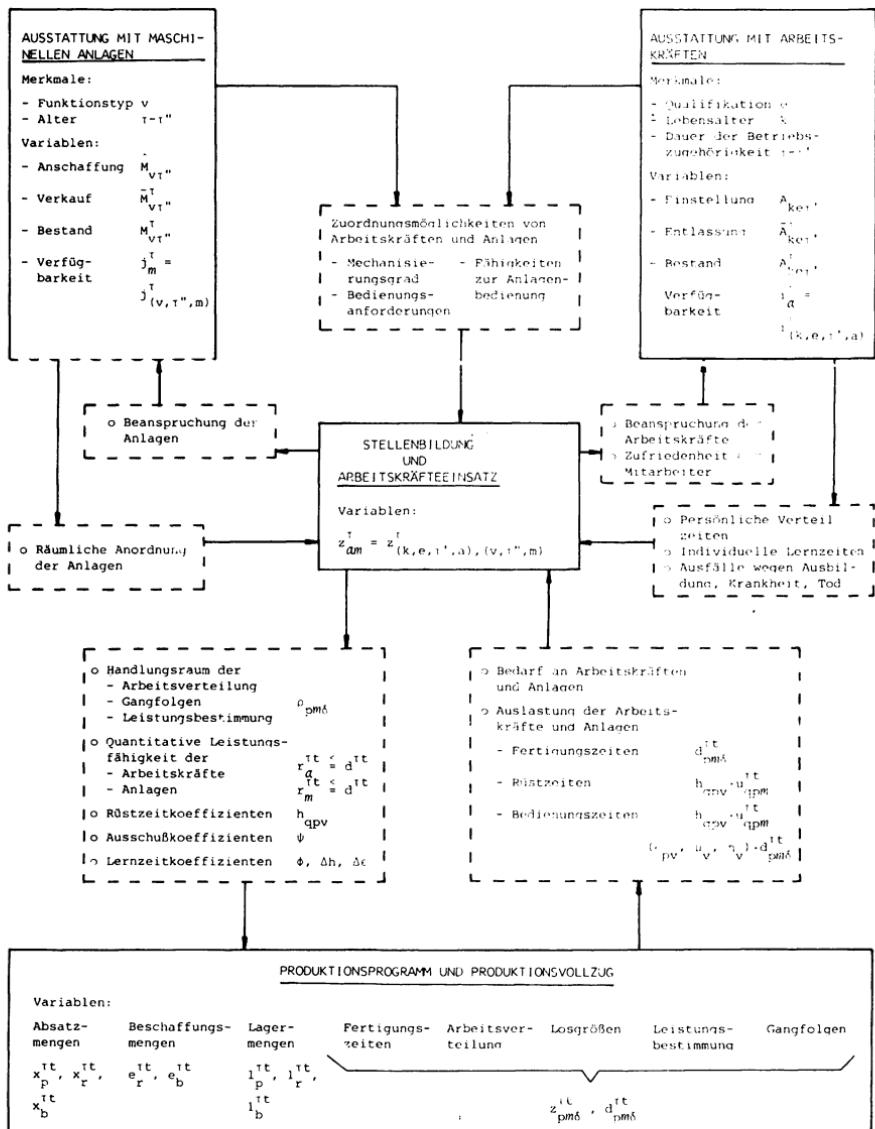


Abb. 36: Überblick über wichtige Interdependenzen zwischen der Ausstattung mit Arbeitskräften und maschinellen Anlagen, der Stellenbildung, dem Arbeitskräfteeinsatz und dem Produktionsvollzug

IV. Probleme und Ansätze einer interdependenten Planung von Produktionsbereitschaft und Produktionsvollzug

1. Problematik einer unmittelbaren Anwendung des umfassenden Produktionsmodells in der Produktionsplanung

Durch die Formulierung eines umfassenden Produktionsmodells lassen sich wichtige Interdependenzen zwischen den Handlungsvariablen des Produktionsprozesses abbilden. Eine Vernachlässigung dieser Interdependenzen bei der Planung von Produktionsbereitschaft und Produktionsvollzug führt zu einer verminderten Zielerreichung. Deshalb scheinen umfassende Modelle, in denen eine Vielzahl von Interdependenzen erfaßt ist, eine geeignete Grundlage für die simultane Planung des Produktionsprozesses darzustellen. Einer unmittelbaren Anwendung derartiger Produktionsmodelle stehen jedoch die hohen Anforderungen an die Datenermittlung, ihre Unvollständigkeit und ihre mangelnde numerische Lösbarkeit entgegen.

Um das entwickelte Produktionsmodell auf einen konkreten Produktionsprozeß anzuwenden, muß eine äußerst umfangreiche Datenmenge ermittelt werden. Für den Planungszeitraum sind die Beschaffungsmöglichkeiten der maschinellen Anlagen, Arbeitskräfte sowie Roh-, Hilfs- bzw. Betriebsstoffe und die Absatzmöglichkeiten der absetzbaren Güter zu bestimmen. Sowohl für die vorhandenen als auch für neu einzurichtende Produktiveinheiten müssen die Koeffizienten ρ der Produktionsgeschwindigkeiten, h der Rüstzeiten und Ψ des Ausschusses für alle herstellbaren Produktarten und Intensitätsgrade prognostiziert werden. Der Umfang dieser Datenmenge nimmt stark zu, wenn die Zahl möglicher Arbeitsverteilungen groß ist und diese Koeffizienten auch von individuellen Eigenschaften der Arbeitskräfte abhängen. Des weiteren müssen die Koeffizienten ϵ für die Tätigkeitszeiten der Arbeitskräfte an den Anlagen sowie μ und η für persönliche Verteil- und Erholungszeiten bekannt sein.

Je weiter die Arbeitskräfte nach persönlichen Eignungsmerkmalen differenziert werden, desto schwieriger wird die Datenermittlung. Ferner müssen die Abgangsraten ζ der freiwilligen Arbeitnehmerkündigungen angegeben werden. Schließlich sind die Produktionskoeffizienten des Werkstoffeinsatzes α sowie des Betriebsstoffverbrauchs β und γ für alle Einsatzgüterarten, herzustellenden Produktarten, Produktiveinheiten und Intensitätsgrade vorzugeben. Alle diese Koeffizienten geben empirische Hypothesen wieder. Ihre Ermittlung setzt daher ein großes Wissen über regelmäßige bzw. gesetzmäßige Zusammenhänge voraus.

Eine Reihe der benötigten Daten läßt sich nur schwer ermitteln. Beispielsweise ist eine exakte Prognose der technischen Daten von zukünftig anzuschaffenden Anlagen insbesondere bei rascher technologischer Entwicklung nur schwer möglich. Auch über die Entwicklung des Arbeitsmarktes und die Qua-

lifikation neu einzustellender Arbeitskräfte besitzt eine Unternehmung häufig lediglich eine wenig exakte Vorstellung. Soweit diese Daten überhaupt vorausgesagt werden können, ist ihre Prognose oder Schätzung mit großer Unsicherheit verbunden. Gleichermassen ist die Gewissheit von Aussagen über die Absatz- und Beschaffungsmöglichkeiten der Produkte, der Anlagen und der Roh-, Hilfs- bzw. Betriebsstoffe sowie die Preisentwicklungen auf diesen Märkten oft gering.

Trotz der großen Zahl erfaßter Interdependenzen müßte das Modell im Hinblick auf eine praktische Anwendung um eine Reihe von Tatbeständen erweitert werden. Innerhalb des Produktionsbereiches sind die Möglichkeiten varia-

~~blerer Arbeitszeitregelungen¹, Anlagenreparaturen, Instandhaltungsmaßnahmen sowie weitere Lernprozesse²~~ zu berücksichtigen. Wichtig erscheint vor allem eine vertiefte Einbeziehung der Interdependenzen zum Absatz- und Beschaffungsbereich sowie zu den Nominagüterbewegungen³. Die einzelnen Handlungsvariablen, Bestimmungsgrößen und Teilprozesse dieser Teilbereiche des Unternehmungsprozesses sind mit ihren Beziehungen zum Produktionsbereich zu erfassen. Ihre Entwicklung im Zeitablauf hat Auswirkungen auf die Begrenzung der Handlungsalternativen und die Entscheidungen der Produktion. Des weiteren sind Verfahren zur Behandlung des Problems unsicherer Informationen in das Modell zu integrieren.

Das entwickelte Produktionsmodell besitzt einen hohen Komplexitätsgrad und ist beim gegenwärtigen Stand der Rechentechnik sowie der verfügbaren Speicherkapazitäten nicht als Optimierungsmodell numerisch lösbar. Neben der großen Zahl von Variablen und Nebenbedingungen übersteigt vor allem die Anzahl ganzzahliger Variablen die Leistungsfähigkeit der bisher bekannten Lösungsalgorithmen. Die Vielzahl von Binärvariablen folgt daraus, daß die Abbildung der organisatorischen Zuordnungsmöglichkeiten eine wichtige Zwecksetzung des Ansatzes bildet. In der kombinatorischen Struktur dieser Organisationsprobleme liegt ein bedeutsamer Grund für den Umfang der benötigten Datenmenge und die hohe Zahl an Modellvariablen. Die Komplexität des Modells gibt damit den Umfang der organisatorischen Handlungsmöglichkeiten wieder.

¹ Zur Lösung dieses Problems vgl. Schneider, R. [Wirkungen] 131 ff.; Hoschka [Planung] 45 ff.; Reichmann [Abstimmung] 71 ff.; Kilger [Mehrarbeitszeiten] 776 ff.; Kilger [Produktionsplanung] 203 ff.

² Zierul [Arbeit] 212 ff.

³ Vgl. hierzu Albach [Investition] 84 ff.; Hax, H. [Investitionsplanung] 430 ff.; Seelbach [Planungsmodelle] 41 ff.; Gutenberg [Finanzen] 16 ff.; Hax, H. [Investitionstheorie] 46 ff.; Schneider, D. [Investition] 288 ff.; Chmielewicz [Erfolgsplanung] 216 ff.; Rosenberg [Investitionsplanung] 53 ff.

2. Einteilung der Handlungsvariablen unter Planungsgesichtspunkten

Das entwickelte Produktionsmodell besitzt gleichzeitig einen weiten Abbildungsumfang und einen hohen Grad an Detailliertheit. Dies erscheint notwendig, um die Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und der Organisation des Produktionsprozesses herauszuarbeiten. Für die Planung des Produktionsprozesses ist dagegen nach Wegen zu suchen, wie sich die Interdependenzen in anwendbaren Modellen berücksichtigen lassen. Deshalb ist zu untersuchen, (1) welche Gesichtspunkte für eine Formulierung von Partialmodellen maßgebend sind und (2) wie die Interdependenzen zwischen den Variablen verschiedener Partialmodelle zumindest näherungsweise erfaßt werden können.

Die Entscheidungen der Unternehmung sind darauf ausgerichtet, bestimmte Ziele zu erreichen. Deshalb kann die *Zielwirksamkeit* der Handlungsvariablen als grundlegendes Merkmal ihrer Einteilung unter Planungsgesichtspunkten angesehen werden. Unternehmungen verfolgen in der Regel ein System verschiedenartiger Ziele. Ein Klassifikationsmerkmal der Handlungsvariablen könnte aus diesem Grund darin gesehen werden, welches Ziel von der jeweiligen Variable beeinflußt wird. Zum Beispiel lassen sich die Wirkungen auf Unternehmungserfolg, Liquidität, Produktziele, Wachstum und Sicherheit sowie soziale Ziele wie Arbeitszufriedenheit und Arbeitsplatzsicherheit analysieren. Jedoch hat die Entscheidung über eine Handlungsvariable meist einen gleichzeitigen Einfluß auf die Ausprägung verschiedener Ziele. So wirkt sich die Anschaffung einer maschinellen Anlage auf das Erfolgsziel, das Liquiditätsziel, das Produktziel und die sozialen Ziele aus, weil sie die Kosten und Leistungen, die Ausgaben und Einnahmen, die Produktionskapazität und die Schaffung von Arbeitsplätzen beeinflußt. Eine isolierte Zuordnung der Handlungsvariablen zu einzelnen Zielen scheidet daher in den meisten Fällen aus.

Dagegen erscheint es grundsätzlich möglich, die Handlungsvariablen nach dem Ausmaß zu differenzieren, in dem sie die Erreichung der Unternehmungsziele bestimmen. Maßgeblich für das Ausmaß der Zielwirksamkeit sind die sachliche und zeitliche Wirkung der Entscheidung über eine Handlungsvariable sowie ihre Revidierbarkeit. Durch die Festlegung einer Variablen wird der Handlungsraum anderer Entscheidungen verändert. Diese Auswirkungen einer einzelnen Entscheidung auf die realisierbare Alternativenmenge bei der Entscheidung über andere Handlungsvariablen wird als ihre *sachliche Wirkung* verstanden. Beispielsweise ist die Investitionsentscheidung einer Anlage maßgebend für die Alternativen der Arbeitsverteilung und der Gangfolgen. Ferner weitet die Kapazitätserhöhung den Handlungsraum der Produktmengenentscheidung aus. Damit können einerseits die Absatzmenge und die Umsatzeinnahmen vermehrt werden, sofern der Markt die zusätzlich gefertigten Produkte abnimmt. Andererseits vermindern die Anschaffungsausgaben der Anlage die verfügbaren finanziellen Mittel. Hierdurch wird zum Beispiel der Hand-

lungsraum für Maßnahmen der Forschung und Entwicklung sowie für Sozialleistungen eingeschränkt. Für jede Handlungsvariable läßt sich in der angedeuteten Weise untersuchen, welche anderen Entscheidungstatbestände durch ihre Festlegung in welchem Umfang begrenzt werden. Damit wird zugleich die Bedeutung der Interdependenzen analysiert.

Man kann davon ausgehen, daß sich eine Handlungsvariable um so stärker auf die Erreichung der Unternehmungsziele auswirkt, je mehr andere Entscheidungen von ihrer Festlegung beeinflußt werden. Umfang und Stärke der „Ausstrahlung“ einer Entscheidung bieten daher einen Anhaltspunkt für das Ausmaß ihrer Zielwirksamkeit.

Maßgebend für die unmittelbare *zeitliche Wirkung* einer Handlungsvariablen ist nicht die Gültigkeitsdauer eines Plans, in dem gegebenenfalls eine Reihe von Entscheidungen niedergelegt ist, sondern die mögliche Wirkungsdauer der Entscheidung über eine einzelne Handlungsvariable. Dieses Merkmal ist daraus ersichtlich, wie lange der durch eine Entscheidung geschaffene Zustand unmittelbar auf den Vollzug des Unternehmungsprozesses einwirkt. Typische Beispiele kurzfristig wirksamer Handlungsvariablen sind die Arbeitsverteilung, die Gangfolgen und die Arbeitsintensitäten. Die unmittelbare Wirkung einer Entscheidung über Arbeitsverteilung und Gangfolgen mehrerer Produkte sowie die zu realisierenden Intensitätssgrade auf den Produktionsprozeß ist beendet, sobald die betroffenen Arbeitsgänge durchgeführt sind. Dann treten nur noch mittelbare Wirkungen auf, weil der Handlungsräum in den nachfolgenden Arbeitsgängen eingeschränkt ist. Diese mittelbaren zeitlichen Wirkungen beruhen auf der sachlichen Ausstrahlung dieser Entscheidungen. Eine längere unmittelbare Wirkung hat die Festlegung von Losgrößen, wenn diese in einem mehrstufigen Produktionsprozeß über alle Arbeitsgänge hinweg konstant bleiben sollen. Beträgt die Durchlaufzeit eines Loses beispielsweise drei Monate, so wird die Losgrößenentscheidung während dieses Zeitraums im Produktionsprozeß wirksam. Von den Entscheidungen über die Beschaffung von Anlagen bzw. die Einstellung von Arbeitskräften gehen im Normalfall noch längere unmittelbare Wirkungen aus, da sie meist über mehrere Jahre hinweg im Produktionsprozeß eingesetzt werden.

Je länger der von einer Entscheidung geschaffene Tatbestand am Vollzug des Unternehmungsprozesses mitwirkt, desto mehr Teilprozesse werden von ihm beeinflußt. Daraus folgt die allgemeine Aussage, daß die Zielwirksamkeit einer Entscheidung um so größer ist, je länger ihre unmittelbare Wirkung auf den Unternehmungsprozeß andauert. Hieraus ergibt sich zugleich, daß für die Festlegung der betreffenden Handlungsvariablen die Entwicklung der Daten innerhalb eines mindestens ebenso langen Zeitraums bestimmd ist. Dabei nimmt der Sicherheitsgrad von Prognosen mit wachsender zeitlicher Entfernung n der Regel ab.

Für die *Revidierbarkeit* einer Entscheidung sind mehrere Tatbestände maßgebend. Sie wird *erstens* bestimmt durch die Zeitdauer bis zur Durchführung

der Entscheidung. Während der Zeit zwischen getroffener Entscheidung und deren Realisation läßt sich die Entscheidung vielfach ohne weiteres revidieren. Die Möglichkeiten zur Revision einer Entscheidung verändern sich, sobald mit ihrer Durchführung begonnen worden ist. Die Revidierbarkeit kann in einzelnen Durchführungsphasen unterschiedlich groß sein. Nach Abschluß des Realisationsprozesses läßt sich die Entscheidung nicht mehr revidieren. Eine zweite Bestimmungsgröße der Revidierbarkeit liegt in Handlungsbeschränkungen durch gesetzliche bzw. vertragliche Vorschriften sowie durch Marktgegebenheiten. Beispielsweise können Entscheidungen über die Einstellung von Arbeitnehmern, die Beschaffung oder den Absatz von Gütern wegen der abgeschlossenen Arbeits- bzw. Lieferverträge sowie der gesetzlichen Kündigungsschutzbestimmungen nur in begrenztem Umfang oder unter erschwerten Bedingungen revidiert werden. Auch Änderungen der Marktsituation beeinflussen die Revidierbarkeit der Entscheidungen. Zum Beispiel ist es möglich, daß eine nicht angeschaffte Anlage nicht mehr hergestellt wird oder ein nicht belieferter Käufer seine Ware inzwischen bei der Konkurrenz bezieht. Die Revidierbarkeit hängt *drittens* von den Wirkungen einer Revision auf die Unternehmungsziele ab. Dabei sind insbesondere die Wirkungen zu beachten, die speziell durch die Revision ausgelöst werden. Hierzu gehören beispielsweise Entlaßprämien sowie Kosten für den Abbau und die Liquidation von Anlagen.

Aufgrund der gekennzeichneten Merkmale erscheint zumindest eine globale Einteilung der in dieser Arbeit analysierten Strukturierungstatbestände möglich. Eine *hohe Zielwirksamkeit* besitzen die Entscheidungen über die Einstellung und Entlassung von Arbeitskräften sowie die Anschaffung und den Verkauf maschineller Anlagen. Zu dieser Klasse sind ferner die Entscheidungen über die herzustellenden und abzusetzenden Produktarten zu rechnen. Durch diese Strukturierungstatbestände werden die Grundkomponenten der Produktionsbereitschaft festgelegt. Sie bestimmen den Handlungsräum vieler anderer Entscheidungen. Die Entscheidungen über die Stellenbildung und den Arbeitskräfteeinsatz weisen eine *weniger hohe Zielwirksamkeit* auf. Für ihre Revidierbarkeit sind vor allem die Bedeutung von Lernprozessen und die Bereitschaft der Mitarbeiter zur Versetzung maßgebend. Auch den Entscheidungen über die quantitative Zusammensetzung von Fertigungs- und Absatzprogrammen sowie den Losgrößen kommt eine geringere Zielwirksamkeit zu. Vielfach haben aber die Entscheidungen über die Beschaffung einzelner Rohstoffe einen nicht unbedeutenden Einfluß auf die Zielerreichung. Eine weitere *Abnahme* der Zielwirksamkeit kann für die Arbeitsverteilung sowie schließlich für die Entscheidungen über Gangfolgen und Leistungsbestimmungen in der Regel unterstellt werden.

Somit wird eine globale rangmäßige Ordnung der Handlungsvariablen erkennbar. Die Strukturierungstatbestände der Produktionsbereitschaft bestimmen unmittelbar den Handlungsräum für die Entscheidungen über den Produktionsvollzug. Dagegen sind die Entscheidungen über das aktuelle Produk-

tionsprogramm, Losgrößen, Arbeitsverteilung, Gangfolgen und Arbeitsintensitäten nur mittelbar bestimmd für die bei den Alternativen der Arbeitskräfte- und Anlagenausstattung sowie der Stellenbildung und des Arbeitskräfteeinsatzes mögliche Zielerreichung.

3. Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Interdependenzen zwischen den Variablen partieller Entscheidungsmodelle

Die globale Kennzeichnung der Zielwirksamkeit von Handlungsvariablen der Produktion lässt es zweckmäßig erscheinen, zur Planung des Produktionsprozesses partielle Entscheidungsmodelle zu entwickeln, die den Teilbereichen des umfassenden Produktionsmodells entsprechen. An die Stelle eines Simultanmodells treten dann selbständige Entscheidungsmodelle der „Ausstattungsplanung“, der „Personalzuordnung“ und der „Produktionsvollzugsplanung“. Diese Partialmodelle weisen eine einfachere Struktur als das umfassende Simultanmodell auf. Sie müssen numerisch lösbar und praktisch anwendbar sein. Bei ihnen kann es sich um Optimierungs- oder um Simulationsmodelle handeln, in denen eine extreme oder eine satisfizierende Lösung mit Hilfe von analytischen, numerisch-iterativen, heuristischen oder Näherungsverfahren¹ ermittelt wird.

Einflüsse der in einem Partialmodell nicht enthaltenen Variablen anderer Partialmodelle kommen in vorzugebenden Koeffizienten zum Ausdruck². So sind im „Ausstattungsmodell“ die Einflüsse des „Personalzuordnungs-“ und des „Produktionsvollzugsmodells“ durch Koeffizienten für arbeitseinsatz- und ablaufbedingte Minderungen der verfügbaren Fertigungszeit von Anlagen, durch Koeffizienten für Durchlauf- und Lagerzeiten sowie Koeffizienten der Herstellkosten je Stück zu berücksichtigen. Ergebnisse des Ausstattungsmodells sind die verfügbaren Bestände an Arbeitskräften und maschinellen Anlagen bestimmter Leistungsfähigkeit sowie die globalen Fertigungs- und Absatzmengen der Perioden. Diese Größen stellen für das Personalzuordnungs- und das Produktionsvollzugsmodell Daten dar, durch welche die Alternativen der Stellenbildung und des Arbeitskräfteeinsatzes sowie der Steuerung des Produktionsprozesses begrenzt werden. Über das Personalzuordnungsmodell wird die Struktur der Produktiveinheiten im einzelnen festgelegt. Damit werden für das Produktionsvollzugsmodell die Koeffizienten der Produktionsgeschwindigkeiten, der Rüstzeiten, des Zeitbedarfs der Arbeitskräfte und des Ausschusses determiniert.

Bei der Lösung eines jeden Partialmodells wird eine bestimmte Lösung der anderen Partialmodelle zugrunde gelegt. Stimmen die Lösungen der verschie-

¹ Zu dieser Einteilung der Lösungsverfahren vgl. Streim [Lösungsverfahren] 151.

² Vgl. auch Hax, H. [Bewertungsprobleme] 753 ff., insbes. 760.

denen Partialmodelle nicht überein, so basieren die ermittelten Optima auf falschen Daten. Deshalb muß versucht werden, „verträgliche“ Optimallösungen zu finden, die auf einer gegenseitigen Abstimmung der Partialmodelle beruhen und zumindest näherungsweise ein Gesamtoptimum erreichen. Dies erscheint im Rahmen eines iterativen Planungsprozesses möglich, in dem die Partialmodelle entsprechend ihrer Zielwirksamkeit sukzessiv gelöst und die ermittelten Optimallösungen in einem anschließenden Rückkopplungsprozeß gegenseitig angepaßt werden³.

Zur Planung des Produktionsprozesses ist bei diesem Vorgehen zuerst das Ausstattungsmodell zu lösen. Dabei können für die arbeitseinsatz- und ablaufbedingten Kapazitätsminderungen der Anlagen, die Durchlaufzeiten und die ablaufabhängigen Teile der Herstellkosten beispielsweise Durchschnittswerte vergangener Perioden angesetzt werden. Ferner ist die prognostizierte oder geschätzte Entwicklung der Absatz-, Beschaffungs- und Finanzierungsmöglichkeiten sowie der Einsatzgüter- und Absatzpreise für die Planungsperioden vorzugeben. Ein Teil der Bestimmungsgrößen für Absatz, Beschaffung und Finanzierung kann auch unmittelbar in das Modell einbezogen werden⁴. Die optimale Lösung des Ausstattungsmodells bildet den Rahmen für die Lösung des Personalzuordnungsmodells, dessen Planungshorizont in der Regel kürzer ist. Für die im Ausstattungsmodell bestimmte optimale Zahl an Arbeitskräften und Anlagen der verschiedenen Qualifikations- und Funktionstypen wird im Personalzuordnungsmodell eine optimale Stellenabgrenzung und Stellenbesetzung ermittelt.

Anschließend werden für die durch Ausstattungs- und Personalzuordnungsmodell festgelegte Struktur der Produktiveinheiten und des Produktionsprogramms im Produktionsvollzugsmodell optimale Losgrößen, Arbeitsverteilungen, Gangfolgen und Intensitäten gesucht. Der Planungszeitraum des Vollzugsmodells erstreckt sich lediglich auf die nächste Periode. In ihm ist die zeitliche Verteilung der Absatzbeschränkungen in den Intervallen dieser Periode vorzugeben. Dies erfordert eine präzisere Voraussage der Absatzmöglichkeiten als im Ausstattungsmodell. Das Produktionsvollzugsmodell kann Termine für die Fertigstellung der Produkte sowie mengenmäßige und zeitliche Begrenzungen der Beschaffungsmöglichkeiten von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen enthalten.

Von grundlegender Bedeutung für eine Berücksichtigung der Interdependenzen im Planungsprozeß ist, daß auf die erstmalige Lösung der selbständigen Partialmodelle ein systematischer *Rückkopplungsprozeß* folgt. Er dient dazu, Abweichungen zwischen den interdependenten Modellgrößen auszugleichen. Diesem Rückkopplungsprozeß sind die Ergebnisse von *Sensitivitätsanalysen*

³ Vgl. entsprechende Hinweise bei Klingen/Schick [Lösungsmethode] 500 ff.; Hackstein/Dorloff [Sortenfertigung] 120 ff.

⁴ Vgl. die umfassenden Planungsmodelle von Blumentrath [Investitionsplanung] 334 ff.; Schweim [Unternehmungsplanung] 75 ff.; Meyhak [Gesamtplanung] 105 ff.; Rosenberg [Investitionsplanung] 13 ff.

eines jeden Partialmodells zugrunde zu legen. Mit Hilfe der Sensitivitätsanalysen lassen sich quantitative Aussagen über die Notwendigkeit der Abstimmung zwischen den Partialmodellen und die Bedeutung der einzelnen Interdependenzen herleiten. Verfahren der Sensitivitätsanalyse sind insbesondere für lineare Programmierungsmodelle entwickelt worden⁵. Sofern die Partialmodelle nicht die Struktur linearer Programmierungsmodelle aufweisen, kann die Sensitivität ihrer (extremalen oder satisfizierenden) Lösungen durch eine systematische Variation einzelner Modellgrößen untersucht werden. Die Prüfung der Sensitivität gegenüber Datenänderungen erstreckt sich darauf, innerhalb welcher Wertebereiche sich die als optimal ermittelten Lösungen nicht ändern. Ferner kann analysiert werden, in welchem Ausmaß sich Datenänderungen auf die Zielerreichung auswirken.

Im Ausstattungsmodell bezieht sich die Sensitivitätsanalyse auf Änderungen der arbeitseinsatz- und ablaufbedingten Leer- sowie Rüstzeiten, von denen die verfügbaren Fertigungszeiten abhängen. Ferner ist der Einfluß von Variationen der Durchlaufzeiten und der Lagerbestände auf die Höhe der Kapitalbindung und die Herstellkosten zu analysieren. Des weiteren muß die Empfindlichkeit der insgesamt herstellbaren Produktmengen gegenüber Änderungen im Arbeitskräfteeinsatz geprüft werden.

Im Personalzuordnungsmodell ist einerseits zu untersuchen, wie stark sich Veränderungen im Bestand an Arbeitskräften sowie maschinellen Anlagen auswirken. Dabei kann einzelnen Qualifikationsgruppen der Arbeitskräfte oder Funktionstypen von Anlagen eine besondere Bedeutung zukommen. Andererseits ist festzustellen, innerhalb welcher Grenzen die Auslastung der Anlagen und die Losgrößen schwanken dürfen, ohne daß sich die optimale Stellenbildung und -besetzung (wesentlich) ändern. Entsprechende Sensitivitätsanalysen im Produktionsvollzugsmodell beziehen sich auf Variationen in der Struktur der Produktiveinheiten. Sie lassen erkennen, bei welchen Typen von Arbeitskräften und Anlagen sich eine Veränderung der verfügbaren Arbeitskräfte und Anlagen sowie ihrer gegenseitigen Zuordnung besonders stark auf den Fertigungsablauf auswirken.

Schließlich ist in jedem Partialmodell zu untersuchen, in welchem Ausmaß die vorgegebenen Daten des Absatz- und Beschaffungsbereiches bei den einzelnen Güterarten sowie die Finanzierungsbeschränkungen variieren dürfen, ohne daß sich die Optimallösungen deutlich ändern.

Nach der ersten sukzessiven Lösung der Partialmodelle werden ihre Lösungen mit den entsprechenden Koeffizienten verglichen, welche für diese Größen im jeweils anderen Partialmodell angenommen worden sind. Beispielsweise ist zu prüfen, inwieweit die im Ausstattungsmodell vorgegebenen Durchschnitts-

⁵ Kern [Empfindlichkeit] 49 ff.; Bloech [Problem] 193 ff.; Dinkelbach [Programmierung] 71 ff.; Gal [Entscheidungsprobleme] 70 ff.; Dinkelbach [Sensitivitätsanalysen] 3530 ff.

werte für Rüst- und Leerzeiten sowie für die Durchlaufzeiten mit den im Produktionsvollzugsmodell ermittelten Werten dieser Größen übereinstimmen. Anhand der Sensitivitätsanalysen lässt sich bestimmen, welche Abweichungen innerhalb der Bereiche liegen, in denen sich die Optimallösungen der Partialmodelle nicht ändern. Jene Größen, die außerhalb der zulässigen Schwankungsbereiche liegen, müssen in einer revidierten Lösung der Partialmodelle angepaßt werden. Dabei werden die Größen, deren Werte von der Lösung nachgelageter Partialmodelle abhängen, entsprechend den im ersten Rechengang gefundenen Lösungen verändert. Dieser Prozeß der iterativen Datenänderung und Lösung der Partialmodelle ist so lange fortzusetzen, bis eine „verträgliche“ und befriedigende Lösung der drei Partialmodelle gefunden ist.

Ein wichtiges Hilfsmittel innerhalb des Abstimmungsprozesses der Partialmodelle kann in der Verwendung parametrischer Programmierungsmodelle bestehen. *Horst Seelbach*⁶ hat gezeigt, daß sich lineare Planungsmodelle zur Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms einer Periode mit Simulationsmodellen der Ablaufplanung über die parametrische Programmierung verbinden lassen. Nach seinem Ansatz werden innerhalb des Modells der Produktionsprogrammplanung in die Nebenbedingungen der Maschinenkapazitäten ein Parameter für ablaufbedingte Kapazitätsminderungen und in die Zielfunktion ein Prozeßkostenparameter eingeführt. Die Lösung des parametrischen Programms gibt die optimalen Produktionsmengen für unterschiedliche Wertebereiche dieser Parameter an. In dem angeschlossenen Ablaufmodell wird dann durch Simulation für die Parameterbereiche mit den höchsten Zielerreichungsgraden ein möglichst guter Ablaufplan bestimmt. Weitere Forschungen müssen zeigen, ob sich entsprechende Verbindungen zwischen Ausstattungs-, Personalzuordnungs- und Produktionsvollzugsmodellen über die parametrische Programmierung herstellen lassen. Beispielsweise könnten in einem Ausstattungsmodell ein oder mehrere Parameter für arbeitseinsatz- oder ablaufbedingte Kapazitätsminderungen, Durchlaufzeitenänderungen sowie Variationen der Herstellkosten eingeführt werden. Anschließend könnten für die durch parametrische Programmierung bestimmten Wertebereiche dieser Größen mit Hilfe von Simulationsmodellen „gute“ Stellen- und Ablaufpläne ermittelt werden.

Des weiteren ist zu untersuchen, ob sich zur Abstimmung der Partialmodelle Verfahren der Regelungs- und Steuerungstheorie verwenden bzw. entwickeln lassen⁷. Einer unmittelbaren Anwendung sowohl der parametrischen Programmierung als auch kybernetischer Regelungs- oder Steuerungsmodelle auf

⁶ Vgl. Seelbach [Programmplanung] 455 ff.; Seelbach und Mitarbeiter [Ablaufplanung] 188 ff.; vgl. auch die entsprechende Anregung bei Schweitzer [Verbindung] 29.

⁷ Vgl. die Ansätze bei Schneeweiss [Filtertheorie] 227 ff.; Schneeweiss [Anwendung] 175 ff.; Schneeweiss [Produktionspolitik] 109 ff.; Baetge/Steenken [Grundlagen] 593 ff.; Schneeweiss [Lagerhaltungs-Produktions-Modelle] 157 ff.; Schiemenz [Grundkonzepte] 434 ff.; Baetge [Systemtheorie] 104 ff.

die gekennzeichneten Planungsprobleme stehen jedoch bislang rechentechnische Probleme entgegen⁸. Daher ist ihre Verwendung zur interdependenten Planung des Produktionsprozesses von der Entwicklung leistungsfähigerer Lösungsalgorithmen abhängig.

Da der Gegenstand dieser Arbeit in der grundsätzlichen Kennzeichnung und Abbildung der Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und der Organisation des Produktionsprozesses besteht, werden die Möglichkeiten zur Berücksichtigung dieser Interdependenzen bei der Planung des Produktionsprozesses lediglich skizziert. Im Vordergrund dieser Arbeit steht das theoretische Wissenschaftsziel. Die entwickelten theoretischen Aussagensysteme sowie die Kenntnis der in ihnen erfaßten Interdependenzen bilden eine Grundlage für die Formulierung vereinfachter, praktisch anwendbarer Modelle und Verfahren. Zugleich erscheint es möglich, auf der entwickelten Basis in Simulationsmodellen die Wirkung und Bedeutung der einzelnen produktions- und organisationstheoretischen Beziehungen zu analysieren. Ferner wird eine wichtige Aufgabe der weiteren Forschung darin gesehen, (heuristische) Regeln zur systematischen Abstimmung interdependenten Partialmodelle zu formulieren. Durch diese Regeln ist zu gewährleisten, daß der Planungsprozeß unter Beachtung der Interdependenzen zwischen den verschiedenen Handlungsvariablen der Unternehmung auf die Ermittlung einer zumindest befriedigenden Gesamtlösung hin gesteuert wird.

⁸ Dinkelbach [Programmierung] 134 f.; Baetge/Steenken [Regelungstheoretischer Ansatz] 25.

E. Ausblick auf die Erfassung des Einflusses interpersoneller Beziehungen

Der Ansatzpunkt für eine Verbindung von Produktionstheorie und Organisationstheorie wird in dieser Arbeit darin gesehen, den Einfluß von Organisationstatbeständen des Produktionsablaufs auf die Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung zu erfassen. Als Grundlage der Untersuchung ist der Input-Output-Ansatz gewählt worden, da sich in ihm die Beziehungen zwischen verschiedenen Teilprozessen wiedergeben lassen. Die Abbildung des Produktionsablaufs erfordert den Übergang auf ein dynamisches Aussagensystem. Deshalb ist ein dynamisches betriebswirtschaftliches Input-Output-Modell mit diskreter Zeitunterteilung entwickelt worden, an dem sich die wichtigsten Strukturmerkmale des Produktionsprozesses kennzeichnen lassen. Damit wird der Betrachtungsgegenstand des theoretischen Aussagensystems auf die Analyse von Einsatz- und Ausbringungszeitpunkten ausgeweitet. Ferner wird es möglich, Veränderungen der Bestimmungsgrößen des Produktionsprozesses im Zeitablauf zu berücksichtigen.

Die auf dieser Basis entwickelten Produktionsmodelle bei konstanter Struktur der Produktiveinheiten geben die Abhängigkeit der Einsatz-, Herstellungs-, Lager- und Absatzmengen von den Organisationstatbeständen Arbeitsverteilung, Losgrößen, Gangfolgen und Leistungsabstimmung wieder. Die genannten Organisationstatbestände stellen wichtige Bestimmungsgrößen der Input-Output-Beziehungen dar. Zugleich sind die Konsequenzen dieser organisatorischen Größen von den Entscheidungen über Herstellungs-, Lager- und Absatzmengen sowie deren zeitliche Verteilung abhängig. Die produktionstheoretischen Tatbestände sind also auch Bestimmungsgrößen organisationstheoretischer Aussagen. Deshalb sind die entwickelten Produktionsmodelle als integrierte produktions- und organisationstheoretische Aussagensysteme zu interpretieren, die wichtige Interdependenzen zwischen Produktions- und Organisationstheorie abbilden.

Grundlegende Bestimmungsgrößen der produktions- und organisations-theoretischen Beziehungen bilden die Programm-, Organisations- und Vergenztypen der Fertigung. Dies macht die Analyse der entwickelten Produktionsmodelle für die am häufigsten anzutreffenden Kombinationsformen von Programm-, Organisations- und Vergenztypen deutlich. Sie sind maßgebend dafür, welche Alternativen zur Organisation des Produktionsvollzugs einer Unternehmung zur Verfügung stehen und welche Bedeutung die verschiedenen

Strukturierungstatbestände des Produktionsablaufs für die Ausprägung der Input-Output-Beziehungen sowie die Zielerreichung gewinnen.

Die Formulierung eines umfassenden Produktionsmodells, in dem die Ausstattung mit Arbeitskräften und Anlagen, die Stellenbildung und der Arbeitskräfteeinsatz als Variablen behandelt werden, ermöglicht die Herausarbeitung weiterer Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und Organisationstheorie. Die Entscheidungen über die Struktur der Produktiveinheiten sind einerseits bestimmd für die Handlungsmöglichkeiten der Unternehmung bei der Gestaltung von Produktionsprogramm, Gütereinsatz und Produktionsablauf. Andererseits beeinflußt aber auch die Strukturierung des Produktionsvollzugs die Auslastung der Arbeitskräfte und Anlagen. Sie wird damit maßgebend für den Bedarf an Potentialgütern und die Möglichkeiten sowie Konsequenzen ihrer gegenseitigen Zuordnung.

Durch die Analyse verschiedener Organisationstypen der Fertigung sowie der Stellenbildung und des Arbeitskräfteeinsatzes werden Organisationstatbestände in die Betrachtung einbezogen, die sich auf Merkmale des Potentialgefüges der Unternehmung beziehen. Hiermit ist ein Ansatzpunkt für die Ausweitung der Untersuchung auf die Analyse des Einflusses interpersoneller Kommunikations- und Leitungsbeziehungen gegeben. Ein wichtiges Bindeglied, um den Einfluß dieser Beziehungsarten sowie der organisatorischen Gliederung in Abteilungen und Bereiche auf die Beziehungen zwischen Gütereinsatz und Güterausbringung zu erfassen, bilden Hypothesen über die Leitungsspannen im Produktionsbereich¹. Zweckmäßig erscheint ein Konzept, bei dem in einem ersten Schritt Hypothesen über Gütereinsatz, Güterausbringung und Produktionsablauf eine Grundlage für die Formulierung von Aussagen über die Leitungsspannen auf der untersten Führungsebene im Produktionsbereich darstellen. Dann ist in einem zweiten Schritt zu prüfen, welche Beziehungen zwischen der Struktur des Realisationsprozesses der Produktion sowie den Instanzen der untersten Ebenen und dem übergeordneten Aufbau der Unternehmungsorganisation bestehen².

Als wichtige Bestimmungsgrößen der Leitungsspannen können der Aufgabencharakter der Führungskräfte, die Kommunikationsbeziehungen, die Art der Führung, persönliche Merkmale und die Kompetenzverteilung angesehen werden³. Man kann davon ausgehen, daß die Aufgaben und Tätigkeiten der

¹ Domsch [Personalplanung] 91 ff.

² Dieses Vorgehen empiehlt Schweitzer. Vgl. Schweitzer [Ablauforganisation] 2.

³ Vgl. zum Überblick Bleicher [Span of Control] 1534 f.; Domsch [Personalplanung] 92 ff.; Gaugler [Instanzenbildung] 145 ff.; Kosiol [Organisation] 108 f.; Kossbiel [Kontrollspanne] 91 ff.

Zu Ansätzen einer Optimierung aufbauorganisatorischer Tatbestände der Unternehmung vgl. Franke [Personalbedarfsplanung] 31 ff.; Hammann [Organization Structure] B 17 ff.; Hanssmann [Organisationsstruktur] 17 ff.; Kossbiel [Kontrollspanne] 103 ff.; Müller-Hagedorn [Organisationsstruktur] 705 ff.; Müller-Merbach [Abteilungsgliederung] 93 ff.

Führungskräfte im Produktionsbereich insbesondere von der Struktur des potentiellen Produktionsprogramms sowie von der Technologie des Produktionsprozesses bestimmt werden. Eine Reihe empirischer Untersuchungen⁴ liefert erste Anhaltspunkte für die Analyse der Beziehungen zwischen technologischen und organisatorischen Merkmalen. Jedoch erscheint es notwendig, ihre (noch nicht übereinstimmenden) Ergebnisse durch weitere empirische Erhebungen über die Art der Aufgaben und Tätigkeiten von Führungskräften bei alternativen Programmtypen und Technologien zu verfeinern. Auf diese Weise lässt sich sichtbar machen, in welchem Umfang productionstheoretische Tatbestände die Gestaltung der Leistungsbeziehungen im Produktionsbereich beeinflussen.

Da die Messung von Informationen bisher ein weithin ungelöstes Problem darstellt, ist die Bedeutung der Kommunikationsbeziehungen für die Strukturierung der Leitungsspannen näherungsweise über die Anzahl der Kontakte zwischen Untergebenen und Vorgesetzten sowie innerhalb der Gruppe der Vorgesetzten bzw. der Untergebenen zu erfassen⁵. Maßgebend für die Herausarbeitung weiterer Beziehungen zwischen Produktions- und Organisationstheorie ist dabei die Frage, inwieweit Zahl und Art der Kommunikationsbeziehungen durch die Struktur von Produktionsprogramm und Technologie des Produktionsprozesses sowie durch die Handlungsalternativen und Entscheidungsprobleme bei der Strukturierung des Produktionsvollzugs bestimmt sind. Darüber hinaus ist anhand empirischer Erhebungen zu analysieren, ob ein Zusammenhang zwischen den Strukturmerkmalen des Produktionsprozesses und dem Führungsstil sowie gegebenenfalls Persönlichkeitsmerkmalen der im Produktionsbereich tätigen Menschen feststellbar ist.

Die Art der Kommunikationsbeziehungen steht in enger Verbindung zur Verteilung der Entscheidungskompetenzen. Je mehr Entscheidungen eine Führungskraft zu treffen hat, desto mehr Informationen benötigt sie und desto mehr Tätigkeiten der Entscheidungsvorbereitung muß sie selbst oder ein ihr zugeordneter Stab durchführen. Deshalb gewinnt die Zentralisierung oder Dezentralisierung der Entscheidungen eine wichtige Bedeutung für die Möglichkeiten zur Strukturierung der Leitungsspannen.

Die Ausdehnung des Untersuchungsgegenstands auf die Kommunikations- und Leistungsbeziehungen im Produktionsbereich erfordert die Aufnahme zusätzlicher Hypothesen über menschliches Verhalten in das theoretische Aussagensystem. Insbesondere sind Hypothesen über die Ziele der Entscheidungsträger und die Entscheidungsprozesse im Produktionsbereich zu formulieren.

⁴ Vgl. u. a. Drumm [Automation] 51 ff.; Kieser [Organisationsstruktur] 573 ff.; Schiller [Technologie] 18 ff.; Woodward [Organisation].

⁵ Bleicher [Span of Control] 1533; Domsch [Personalplanung] 99 ff.; Graicunas [Relationship] 183 ff.

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die Abbildung des Handlungsspielraums der Unternehmung bei der Strukturierung ihres Produktionsprozesses. Die entwickelten Produktionsmodelle erfassen die Beziehungen zwischen den für den Produktionsprozeß bestimmenden Größen simultan. Sie sind daher mehr auf eine zentrale Entscheidungsfindung ausgerichtet. Durch die Verteilung der Entscheidungskompetenzen über die in ihnen enthaltenen Handlungsvariablen auf verschiedene Entscheidungsträger wird das gesamte Entscheidungsfeld der Produktion in einzelne Entscheidungsfelder zerlegt. Je stärker die Entscheidungen dezentralisiert werden, desto mehr Bedeutung erlangen die in einer Unternehmung angewandten Koordinationsinstrumente. Mit ihnen wird eine gesamtzielorientierte Planung und Steuerung des Produktionsprozesses ohne simultane Erfassung der Interdependenzen zwischen den Handlungsvariablen der verschiedenen Entscheidungsträger angestrebt. Ein wichtiges Instrument zur Koordination der Entscheidungen im Produktionsbereich bildet die Vorgabe von Entscheidungszielen und Entscheidungs- bzw. Prioritätsregeln. Eine zentrale Aufgabe der weiteren Forschung ist deshalb darin zu sehen, die Auswirkungen alternativer Systeme der Kompetenzverteilung sowie der Entscheidungskoordination auf die Ausprägung der Input-Output-Beziehungen unter Einschluß empirischer Hypothesen über das Verhalten der jeweiligen Entscheidungsträger zu untersuchen⁶.

Durch die stärkere Einbeziehung von Hypothesen über menschliches Verhalten in produktionstheoretische Aussagensysteme wird es möglich, die Bedeutung individueller Zielsetzungen für die Ausprägung der Beziehungen zwischen Gütereinsatz, Produktionsablauf und Güterausbringung wiederzugeben. Darüber hinaus erscheint es notwendig, theoretische Aussagen über die Auswirkungen der Strukturierung des Produktionsprozesses auf die Erfüllung sozialer Ziele wie die Zufriedenheit der Mitarbeiter⁷ aufzustellen und zu überprüfen. Damit weitet sich die Betrachtung über die Analyse der Beziehungen zwischen Einsatz- und Ausbringungsgütermengen sowie ihrer zeitlichen Verteilung auf die Kennzeichnung ihrer Bedeutung für die in der Unternehmung tätigen Personen aus.

Ein wesentliches Merkmal der Produktionsprozesse von Unternehmungen stellt die Ausnutzung technischer Möglichkeiten durch den Menschen dar. Dabei werden in der Regel menschliche und maschinelle Arbeit zur Erzeugung von Produkten kombiniert. Für die Struktur von Produktionsprozessen sind einerseits technische Gegebenheiten und andererseits das Verhalten von Menschen bestimend. Aus diesem Grund bilden theoretische Aussagen über beide Bereiche eine Basis für die Formulierung betriebswirtschaftlicher Theorien. In einer stärkeren Verbindung von Aussagen über technische Gesetzmäßigkeiten

⁶ Einen Ansatz in dieser Richtung, bei dem jedoch rein axiomatisch und nicht aufgrund empirisch überprüfter Hypothesen vorgegangen wird, entwickelt Sievi. Vgl. Sievi [Produktionstheorie] 14 ff.

⁷ Franke [Personalbedarfsplanung] 88 ff.

Rigkeiten mit Aussagen über menschliches Verhalten ist daher eine wichtige Aufgabe der weiteren betriebswirtschaftlichen Forschung zu sehen. Auf diesem Wege erscheint eine umfassende Integration produktions- und organisationstheoretischer Aussagen erreichbar.

Anhang I

Berechnung der Inversen einer zerlegten Matrix, die unterhalb der Teilmatrizen auf der Hauptdiagonalen mit Nullmatrizen besetzt ist

Die Inverse wird durch sukzessive Anwendung der Regeln für die Inversion zerlegter Matrizen (vgl. Ayres [Matrices] 56 f.; Vogel [Matrizenrechnung] 57 ff.; Schweitzer/Küpper [Produktionstheorie] 264 ff.) auf zunehmend größere Blöcke der zu invertierenden Matrix berechnet.

Beispiel: Berechnung von $\begin{bmatrix} A & B & D \\ 0 & C & F \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix}^{-1}$

Sofern A , C und G quadratisch und invertierbar sind, lässt sich berechnen:

$$1. \text{ Schritt: } \begin{bmatrix} A & B \\ 0 & C \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A^{-1} & -A^{-1}B \cdot C^{-1} \\ 0 & C^{-1} \end{bmatrix}$$

$$2. \text{ Schritt: } \begin{bmatrix} A & B & D \\ 0 & C & F \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A^{-1} & -A^{-1}B \cdot C^{-1} & -A^{-1}D \cdot G^{-1} + A^{-1}B \cdot C^{-1}F \cdot G^{-1} \\ 0 & C^{-1} & -C^{-1}F \cdot G^{-1} \\ 0 & 0 & G^{-1} \end{bmatrix}$$

Anhang II

Überprüfung der zerlegten Gesamtverbrauchsmatrix B.17 (Seite 75) durch Berechnung von

$$(E^* - F^*)^{-1} (E^* - F^*) = E$$

(vgl. nächste Seite)

Literaturverzeichnis

- Abernathy, William J., Nicholas Baloff, John C. Hershey und Sten Wandel: A Three-Stage Manpower Planning and Scheduling Model – A Service-Sector Example. In: *Operations Research* (21) 1973, S. 693–711.
- Acker, Heinrich B.: [Organisationsanalyse] Organisationsanalyse. Verfahren und Techniken praktischer Organisationsarbeit. Baden-Baden 1963.
- Ackoff, Russell L.: [Communication] Towards a Behavioral Theory of Communication. In: *Management Science* (4) 1957/58, S. 218–234.
- Adam, A. und J. Roppert: [Leistungsverrechnungen] Betriebliche Leistungsverrechnungen. Würzburg 1962.
- Adam, Dietrich: [Ablaufplanung] Simultane Ablauf- und Programmplanung bei Sortenfertigung mit ganzzahliger linearer Programmierung. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (33) 1963, S. 233–245.
- [Produktionsplanung] Produktionsplanung bei Sortenfertigung. Ein Beitrag zur Theorie der Mehrproduktunternehmung. Wiesbaden 1969.
- [Kostenbewertung] Entscheidungsorientierte Kostenbewertung. Wiesbaden 1970.
- [Anpassung] Quantitative und intensitätsmäßige Anpassung mit Intensitäts-Splitting bei mehreren funktionsgleichen, kostenverschiedenen Aggregaten. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (42) 1972, S. 381–400.
- [Produktionsdurchführungsplanung] Produktionsdurchführungsplanung. In: *Industriebetriebslehre in programmierte Form*. Hrsg. von H. Jacob. Band II: Planung und Planungsrechnungen. Wiesbaden 1972, S. 329–498.
- [Kostentheorie] Produktions- und Kostentheorie bei Beschäftigungsgradänderungen. Tübingen, Düsseldorf 1974.
- [Losgröße] Losgröße, optimale. In: *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1975, Sp. 2549–2559.
- [Interpretationen] Zeitablaufbezogene Interpretationen von Ergebnissen aus zeitablaufunabhängigen Modellen, dargestellt am Beispiel eines Produktionsaufteilungsproblems. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (46) 1976, S. 149–161.
- Albach, Horst: [Entscheidungsprozeß] Entscheidungsprozeß und Informationsfluß in der Unternehmensorganisation. In: *Organisation. TFB-Handbuchreihe*. Erster Band. Hrsg. von Erich Schnaufer und Klaus Agthe. Berlin und Baden-Baden 1961, S. 355–402.
- [Investition] Investition und Liquidität. Die Planung des optimalen Investitionsbudgets. Wiesbaden 1962.
- [Produktionsplanung] Produktionsplanung auf der Grundlage technischer Verbrauchsfunktionen. Heft 105 der *Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen*. Köln und Opladen 1962, S. 45–98.
- [Verbindung] Zur Verbindung von Produktionstheorie und Investitionstheorie. In: *Zur Theorie der Unternehmung. Festschrift zum 65. Geburtstag von Erich Gutenberg*. Hrsg. von Helmut Koch. Wiesbaden 1962, S. 137–203.
- [Lenkpreise] Innerbetriebliche Lenkpreise als Instrument dezentraler Unternehmensführung. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (44) 1974, S. 216–242.

- Albert, Hans:* [Macht] Macht und Zurechnung. Von der funktionellen zur institutionellen Verteilungstheorie. In: Schmollers Jahrbuch für Gesetzgebung, Verwaltung und Volkswirtschaft (75) 1955, S. 57–85.
- [Theoriebildung] Probleme der Theoriebildung. Entwicklung, Struktur und Anwendung sozialwissenschaftlicher Theorien. In: Theorie und Realität. Hrsg. von Hans Albert. Tübingen 1964, S. 3–70.
 - [Probleme] Probleme der Wissenschaftslehre in der Sozialforschung. In: Handbuch der Empirischen Sozialforschung. Hrsg. von René König. I. Band. 2. Aufl. Stuttgart 1967, S. 38–63.
- Aldrich, Howard E.:* Technology and Organizational Structure: A Reexamination of the Findings of the Aston Group. In: Administrative Science Quarterly (17) 1972, S. 26–43.
- Altrogge, Günter:* Optimale Maschinenbelastung in Abhängigkeit von der Beschäftigung. Wiesbaden 1971.
- Anderegg, Jürgen:* [Vorlaufzeit] Ermittlung der Vorlaufzeit im Rahmen der Programmplanung bei der Serienfertigung. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (21) 1969, S. 326–346.
- Argyris, Chris:* [Personality] Personality and Organization. New York und Evanston 1957.
- Arnold, Hans u. a.:* [Produktionsprozeß] Der Produktionsprozeß im Industriebetrieb. 2. Aufl., Berlin 1968.
- Arrow, Kenneth J.:* Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production. Stanford/Calif. 1965.
- Arthanari, T. S. und A. C. Mukhopadhyay:* [Note] A Note on a Paper by W. Szwarc. In: Naval Research Logistics Quarterly (18) 1971, S. 135–138.
- Ashour, S.:* [Sequencing Theory] Sequencing Theory. Berlin 1972.
- Avi-Itzhak, B.:* [Queues] Preemptive Repeat Priority Queues as a Special Case of the Multipurpose Server Problem – I and II. In: Operations Research (11) 1963, S. 597–619.
- Ayres, Frank jr.:* [Matrices] Theory and Problems of Matrices. New York u. a. 1962.
- Bachrach, P. und M. S. Baratz:* [Power] Power and Poverty. Oxford 1970.
- Baetge, Jörg:* [Kostentheorie] Sind „Lernkurven“ adäquate Hypothesen für eine möglichst realistische Kostentheorie? In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (26) 1974, S. 521–543.
- [Systemtheorie] Betriebswirtschaftliche Systemtheorie. Regelungstheoretische Planungs-Überwachungsmodelle für Produktion, Lagerung und Absatz. Opladen 1974.
 - [Lernprozesse] Lernprozesse, betriebliche. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1975, Sp. 2496–2504.
- Baetge, Jörg und Hans-Ulrich Steenken:* [Grundlagen] Theoretische Grundlagen eines Regelungsmodells zur operationalen Planung und Überwachung betriebswirtschaftlicher Prozesse. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (23) 1971, S. 593–630.
- [Regelungstheoretischer Ansatz] Regelungstheoretischer Ansatz zur operationalen Planung und Überwachung von Produktion und Lagerung. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (24) 1972, S. 22–69.
- Baker, Kenneth R.:* [Introduction] Introduction to Sequencing and Scheduling. Wiley, New York 1974.
- A Comparative Study of Flow-Shop Algorithms. In: Operations Research (23) 1975, S. 62–73.
- Baker, C. T. und B. P. Dzielinski:* [Simulation] Simulation of a Simplified Job Shop. In: Management Science (6) 1959/60, S. 311–323.

- Barchi, R. H., F. T. Sparrow und R. R. Vemuganti:* Production, Inventory and Capacity Expansion Scheduling with Integer Variables. In: *Management Science* (21) 1974/75, S. 783–793.
- Barnard, Chester J.:* [Functions] *The Functions of the Executive*. Cambridge/Mass. 1954.
- Bartölke, Klaus:* Überlegungen zu den Grundlagen der Planung von Betriebsorganisationen. Eine interdisziplinäre Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung des Produktionsprozesses. Berlin 1969.
- Bartram, Peter:* [Kommunikation] *Die innerbetriebliche Kommunikation*. Berlin 1969.
- Baumgartner, John St.:* [Project Management] *Project Management*. Homewood/Ill. 1963.
- Baur, Walter:* [Wege] *Neue Wege der betrieblichen Planung*. Berlin, Heidelberg, New York 1967.
- Bavelas, Alex:* [Communication Patterns] *Communication Patterns in Task-oriented Groups*. In: *Group Dynamics. Research and Theory*. Hrsg. von Dorwin Cartwright und Alwin Zander. 3. Aufl., London 1968, S. 503–517.
- Bellmann, Richard E.:* [Aspects] *Mathematical Aspects of Scheduling Theory*. In: *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics* (4) 1956, S. 168–205.
- Benz, William F.:* Input-Output Analysis for Cost Accounting, Planning and Control: A Proof. In: *The Accounting Review* (48) 1973, S. 377–380.
- Berg, Curt und Barbo Mazurczak:* [Arbeitsgruppen] Autonome Arbeitsgruppen als neue Form der Arbeitsorganisation – ein Bericht über die Erfahrungen eines schwedischen Unternehmens. In: *WiSt-Wirtschaftswissenschaftliches Studium* (4) 1975, S. 190–194.
- Berger, Karl-Heinz:* [Organisationstypen] Organisationstypen der Produktion. In: *Industrielle Produktion*. Hrsg. von Klaus Agthe, Hans Blohm und Erich Schnaufer. Baden-Baden und Bad Homburg v. d. H. 1967, S. 177–188.
- Unternehmensgröße und Leitungsaufbau. Berlin 1968.
- [Betriebsgröße] Die Betriebsgröße als kostentheoretisches und als leistungsstrukturelles Problem. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* (24) 1972, S. 421–433.
- Berle, A. A.:* [Power] *Power*. New York 1969.
- Berthel, Jürgen:* [Informationen] *Informationen und Vorgänge ihrer Bearbeitung in der Unternehmung*. Berlin 1967.
- [Determinanten] Determinanten menschlicher Leistungseffizienz im Betrieb – Ergebnisse neuerer Forschungen. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* (25) 1973, S. 383–397.
- Beste, Theodor:* [Fertigungsstufen] Fertigungsstufen. In: *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*. 3. Aufl. Hrsg. von Hans Seischab und Karl Schwantag. Band I, Stuttgart 1956, Sp. 1757–1762.
- [Fertigungsverfahren] Fertigungsverfahren. In: *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*. 3. Aufl. Hrsg. von Hans Seischab und Karl Schwantag. Band I, Stuttgart 1956, Sp. 1764–1774.
- [Erfolgsrechnung] Die kurzfristige Erfolgsrechnung. 2. Aufl., Köln und Opladen 1962.
- Bidlingmaier, Johannes:* [Unternehmerziele] *Unternehmerziele und Unternehmerstrategien*. Wiesbaden 1964.
- Bihl, Gerhard:* [Mitbestimmung] Von der Mitbestimmung zur Selbstbestimmung. Das skandinavische Modell der selbststeuernden Gruppen. München 1973.
- Blackburn, Joseph D. und Howard Kunreuther:* Planning Horizons for the Dynamic Lot Size Model with Backlogging. In: *Management Science* (21) 1974/75, S. 251–255.
- Blake, R. R. und J. S. Mouton:* [Managerial Grid] *The Managerial Grid*. Houston/Texas 1964.

- Blau, P. M. und R. A. Schoenherr:* [Organizations] *The Structure of Organizations*. New York 1971.
- Bleicher, Knut:* [Zentralisation] Zentralisation und Dezentralisation von Aufgaben in der Organisation der Unternehmungen. Berlin 1966.
- [Span of Control] Span of Control. In: Handwörterbuch der Organisation. Hrsg. von Erwin Grochla. Stuttgart 1969, Sp. 1531–1536.
- Die Organisation der Unternehmung in systemtheoretischer Sicht. In: Organisation als System. Hrsg. von Knut Bleicher. Wiesbaden 1972, S. 173–187.
- Bloech, Jürgen:* [Problem] Zum Problem der nachträglichen Änderung industrieller Produktionsprogramme. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (36) 1966, S. 186–197.
- Blumentrath, U.:* [Investitionsplanung] Investitions- und Finanzplanung mit dem Ziel der Endwertmaximierung. Wiesbaden 1969.
- Böhmer, G.:* [Lerneffekte] Lerneffekte als Kosteneinflußgrößen und ihre Berücksichtigung in der Kostenplanung und der Kostenrechnung. Diss. Münster 1970.
- Böhrs, Hermann:* [Arbeitsleistung] Die menschliche Arbeitsleistung und die Möglichkeiten ihrer Messung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (31) 1961, S. 641–654.
- [Organisation] Organisation des Industriebetriebes. Wiesbaden 1963.
- Bössmann, Eva:* [Kommunikationsbeziehungen] Die ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen. Berlin, Heidelberg, New York 1967.
- Bohr, Kurt:* [Produktionstheorie] Zur Produktionstheorie der Mehrproduktunternehmung. Traditionelle Theorie und Lineare sowie Nichtlineare Programmierung. Köln und Opladen 1967.
- Bol, Georg:* Stetigkeit und Effizienz bei mengenwertigen Produktionsfunktionen. Meisenheim am Glan 1973.
- Bowman, Edward H.:* [Problem] The Schedule-Sequencing Problem. In: Operations Research (7) 1959, S. 621–624.
- [Balancing] Assembly-Line Balancing by Linear Programming. In: Operations Research (8) 1960, S. 385–389.
- Analysis for Production and Operations Management. Homewood/Ill. 1957.
- Brachvogel, Ulrich und Rolf Koxholt:* [Simulation] Ein Modell zur Simulation einer Fließfertigung unter der Annahme kontinuierlichen Fertigungsflusses. In: Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung. Hrsg. von Karl F. Bussmann und Peter Mertens. Stuttgart 1968, S. 373–387.
- Brankamp, Klaus:* Ein Terminplanungssystem für Unternehmen der Einzel- und Serienfertigung. Voraussetzungen, Gesamtkonzeption und Durchführung mit EDV. 2. Aufl. Würzburg, Wien 1973.
- Brauer, Karl M.:* Optimale Produktionsplanung in Kraftwerken. Die simultane Lösung komplexer Lastverteilungsprobleme mit Hilfe der binären Optimierung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (43) 1973, S. 421–434.
- Reihenfolgemodelle. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1976, Sp. 3405–3410.
- Brink, Hans-Josef und Peter Fabry:* [Arbeitszeiten] Die Planung von Arbeitszeiten unter besonderer Berücksichtigung der Systeme vorbestimmter Zeiten. Wiesbaden 1974.
- Bronner, Rolf:* [Entscheidung] Entscheidung unter Zeitdruck. Tübingen 1973.
- Brownell, William S. und James M. Lowerre:* Scheduling of Work Forces Required in Continuous Operations Under Alternative Labor Policies. In: Management Science (22) 1975/76, S. 597–605.
- Bruhn, Ernst-Egon:* [Potentialfaktoren] Die Bedeutung der Potentialfaktoren für die Unternehmungspolitik. Berlin 1965.

- Birk, Gunther:* [Gesetzmäßigkeiten] Statistische Gesetzmäßigkeiten von Ausfallzeiten und Arbeitsintervallen an Fertigungsmaschinen – eine Feldstudie. In: Operations Research und Datenverarbeitung bei der Instandhaltungsplanung. Hrsg. von Karl F. Bussmann und Peter Mertens. Stuttgart 1968, S. 17–30.
- Bush, R. R. und F. Mosteller:* [Learning] A Mathematical Model for Simple Learning. In: The Psychological Review (58) 1951, S. 313–323.
- Bussmann, Karl F.:* [Fertigungssteuerung] Die Fertigungssteuerung in Industriebetrieben als Funktion der Fertigungstypen. In: Betriebswirtschaftslehre und Wirtschaftspraxis. Festschrift für K. Mellerowicz. Hrsg. von Horst Schwarz und Karl-Heinz Berger. Berlin 1961, S. 63–80.
- Bussmann, Karl F. u. a.:* [Fließbandabstimmungsverfahren] Ein Vergleich von Fließbandabstimmungsverfahren. In: Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung. Hrsg. von Karl F. Bussmann und Peter Mertens. Stuttgart 1968, S. 313–356.
- Bussmann, Karl F., Heinz Kress und Michael Kuhn:* [Strategien] Übersicht über die Strategien und deren Anwendung auf Fertigungsaggregate. In: Operations Research und Datenverarbeitung bei der Instandhaltungsplanung. Hrsg. von Karl F. Bussmann und Peter Mertens. Stuttgart 1968, S. 31–40.
- Butterworth, J. E. und B. A. Sigloch:* [Input-Output Model] A Generalized Multi-Stage Input-Output Model and Some Derived Equivalent Systems. In: The Accounting Review (46) 1971, S. 700–716.
- Carnap, R.:* [Semantics] Introduction to Semantics. Studies in Semantics. Vol. I. 3. Aufl. Cambridge, Mass. 1943.
- Cartwright, Dorwin:* [Contribution] The Potential Contribution of Graph Theory to Organization Theory. In: Modern Organization Theory. Hrsg. von M. Haire. New York und London 1959, S. 254–271.
- [Influence] Influence, Leadership, Control. In: Handbook of Organizations. Hrsg. von James G. March. Chicago 1965, S. 1–47.
- Cartwright, Dorwin und Alwin Zander:* [Properties of Groups] The Structural Properties of Groups: Introduction. In: Group Dynamics. Research and Theory. Hrsg. von Dorwin Cartwright und Alwin Zander. 3. Aufl. New York, Evanston und London 1968, S. 485–502.
- [Uniformity] Pressures to Uniformity in Groups: Introduction. In: Groups Dynamics. Research and Theory. Hrsg. von Dorwin Cartwright und Alwin Zander. 3. Aufl. New York, Evanston und London 1968, S. 139–151.
- Cherry, Colin:* [Kommunikationsforschung] Kommunikationsforschung – eine neue Wissenschaft. 2. Aufl. Hamburg 1967.
- Child, J.:* [Structure] Organizational Structure, Environment, and Performance: The Role of Strategic Choice. In: Sociology (6) 1972, S. 1–22.
- Chmielewicz, Klaus:* [Wirtschaftsgut] Wirtschaftsgut und Rechnungswesen. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (21) 1969, S. 85–122.
- [Formalstruktur] Die Formalstruktur der Entscheidung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (40) 1970, S. 239–268.
- [Mehrperiodenplanung] Mehrperiodenplanung von industriellen Erzeugnis- und Teilerzeugnis-Programmen mit Hilfe des Matrizenkalküls. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (22) 1970, S. 285–301.
- [Betriebsverfassung] Die Betriebsverfassung als Problem einer methodologisch fundierten Sozialreform-Strategie. In: Probleme der Unternehmungsverfassung. Gedanken zum 70. Geburtstag von Martin Lohmann. Hrsg. von Ralf-Bodo Schmidt. Tübingen 1971, S. 1–40.

- Chmielewicz, Klaus: [Erfolgsplanung] Integrierte Finanz- und Erfolgsplanung. Stuttgart 1972.
- Clark, John Maurice: [Studies] Studies in the Economics of Overhead Costs. Chicago 1923.
- Cobham, Alan: [Assignment] Priority Assignment in Waiting Line Problems. In: Operations Research (2) 1954, S. 70–76.
- Coenenberg, Adolf Gerhard: [Kommunikation] Die Kommunikation in der Unternehmung. Wiesbaden 1966.
- [Lernvorgänge] Die Bedeutung fertigungswirtschaftlicher Lernvorgänge für Kostentheorie, Kostenrechnung und Bilanz. In: Kostenrechnungspraxis 1970, S. 111–115.
- Coenenberg, Adolf Gerhard und Erich Frese: [Lerntheorie] Lerntheorie und Rechnungswesen. In: Handwörterbuch des Rechnungswesens. Hrsg. von Erich Kosiol. Stuttgart 1970, Sp. 1031–1043.
- Conway, Richard W., Bruce M. Johnson und William L. Maxwell: [Investigation] An Experimental Investigation of Priority Dispatching. In: The Journal of Industrial Engineering (11) 1960, S. 221–229.
- Conway, Richard W. und William L. Maxwell: [Model] A Queuing Model with State Dependent Service Rate. In: The Journal of Industrial Engineering (12) 1961, S. 132–136.
- [Dispatching] Network Dispatching by the Shortest-Operation Discipline. In: Operations Research (10) 1962, S. 51–73.
- Conway, Richard W., William L. Maxwell und Louis W. Miller: [Scheduling] Theory of Scheduling. Reading u. a. 1967.
- Crowston, Wallace B. und Michael H. Wagner: Dynamic Lot Size Models for Multi-Stage Assembly Systems. In: Management Science (20) 1973/1974, S. 14–21.
- Cyert, Richard M. und James G. March: [Theory] A Behavioral Theory of the Firm. Englewood Cliffs/N. J. 1963.
- Czayka, L.: Über das Verhältnis zwischen Input-Output-Analyse und Linearer Programmierung. In: Unternehmensforschung (8) 1964, S. 25–32.
- [Input-Output-Analyse] Qualitative Input-Output-Analyse. Die Bedeutung der Graphentheorie für die interindustrielle Input-Output-Analyse. Meisenheim am Glan 1972.
- Czeranowsky, Günter: Programmplanung bei Auftragsfertigung unter besonderer Berücksichtigung des Terminwesens. Wiesbaden 1974.
- Dahl, Robert A.: [Concept] The Concept of Power. In: Behavioral Science (2) 1957, S. 201–215.
- Dale, Ernest: [Management] Management: Theory and Practice. New York u. a. 1965.
- Dall, O. F. und V. F. Pilz: Prognose des Personalbedarfs für den Bereich der industriellen Produktion. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (70) 1975, S. 242–248.
- Danø, Sven: Industrial Production Models. Wien und New York 1966.
- Dantzig, George B.: [Lineare Programmierung] Lineare Programmierung und Erweiterungen. Berlin, Heidelberg, New York 1966.
- Debreu, Gerard und I. N. Herstein: [Matrices] Nonnegative Square Matrices. In: Econometrica (21) 1953, S. 597–607.
- Dellmann, Klaus: [Bedienungssysteme] Die Bestimmung optimaler Bedienungssysteme bei Mehrstellenarbeit. Köln u. a. 1971.
- [Modell] Ein heuristisches Modell zur gewinnmaximalen Seriengrößen- und Seriensequenzplanung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (44) 1974, S. 139–158.
- [Entscheidungsmodelle] Entscheidungsmodelle für die Serienfertigung. Opladen 1975.

- Dellmann*, Klaus: Seriengrößen- und Seriensequenzplanung. In: WiSt-Wirtschaftswissenschaftliches Studium (4) 1975, S. 209–214.
- Dellmann*, Klaus und Ludwig *Nastansky*: [Produktionsplanung] Kostenminimale Produktionsplanung bei rein-intensitätsmäßiger Anpassung mit differenzierten Intensitätsgraden. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (39) 1969, S. 239–268.
- Dickhut*, Ewald Otto: Zur Problematik der optimalen Fertigungsablaufplanung in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Diss. Aachen 1966.
- Dienstdorf*, Bernhard: Kapazitätsanpassung durch flexiblen Personaleinsatz bei Werkstattfertigung. Diss. Aachen 1972.
- Der Kapazitätsbegriff und seine Anwendung auf Betriebe mit Werkstättenfertigung. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (68) 1973, S. 192–199.
- Dienstdorf*, B. und H. J. *Stommel*: Kapazitätsanpassung durch flexiblen Personaleinsatz bei Werkstättenfertigung. In: Fortschrittliche Betriebsführung (21) 1972, S. 205–210.
- Dietrich*, Günther und Henry *Stahl*: [Matrizen] Matrizen und Determinanten und ihre Anwendung in Technik und Ökonomie. Leipzig 1966.
- Diewert*, W. E.: An Application of the Shephard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function. In: Journal of Political Economy (79) 1971, S. 481–507.
- Dinkelbach*, W.: [Produktionsplanung] Zum Problem der Produktionsplanung in Ein- und Mehrproduktunternehmen. Würzburg, Wien 1964.
- [Programmierung] Sensitivitätsanalysen und parametrische Programmierung. Berlin, Heidelberg, New York 1969.
- Ablaufplanung in entscheidungstheoretischer Sicht. Saarbrücken 1976.
- [Sensitivitätsanalysen] Sensitivitätsanalysen. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1976, Sp. 3530–3536.
- Dörken*, Wilhelm: [Arbeitsstrukturierung] Untersuchungen zur Arbeitsstrukturierung in der Großserienmontage. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (29) 1975, S. 163–167.
- Domsch*, Michel: [Personalplanung] Simultane Personal- und Investitionsplanung im Produktionsbereich. Bielefeld 1970.
- Domsch*, Michel und Thomas *Gabelin*: Der Aufbau eines Systems zur Personaleinsatzplanung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (41) 1971, S. 59–76.
- Dorfman*, Robert: [Nature] The Nature and Significance of Input-Output. In: The Review of Economics and Statistics (37) 1954, S. 121–133.
- Dorsey*, Robert C., Thom J. *Hodgson* und H. Donald *Ratcliff*: Network Approach to a Multi-Facility, Multi-Product Production Scheduling Problem Without Backordering. In: Management Science (21) 1974/75, S. 813–822.
- Drumm*, Hans Jürgen: [Elemente] Elemente und Strukturdeterminanten des informatischen Kommunikationssystems industrieller Unternehmungen. Berlin 1969.
- [Automation] Automation und Leitungsstruktur. Die organisatorischen Auswirkungen von Mechanisierung, Automatisierung und Automation auf Instanzen und Leitungszusammenhang von Herstellungs- und Reparaturabteilungen industrieller Unternehmungen. Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. Berlin 1970.
- [Lenkung] Theorie und Praxis der Lenkung durch Preise. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (24) 1972, S. 253–267.
- [Verrechnungspreisbildung] Zum Stand und Problematik der Verrechnungspreisbildung in deutschen Industrieunternehmungen. In: Sonderheft 2 der Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1973, S. 91–107.
- Dürr*, K.: [Auflagen] Die Bemessung der Auflagen in der Serienfabrikation. Bern 1952.

- Edin, Robert:* [Wirkungsweise] Wirkungsweise und Voraussetzungen der Prognose mittels Verweilzeitverteilungen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (38) 1968, S. 743–764.
- [Übergangsfunktionen] Übergangsfunktionen in betriebswirtschaftlichen Systemen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (39) 1969, S. 569–594.
- [Analyse] Dynamische Analyse betrieblicher Systeme. Ein Beitrag zur industriellen Planung. Berlin 1971.
- Edin, Robert und Hermann J. Schmitt:* [Verweilzeitverteilungen] Verweilzeitverteilungen und Prognosen. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (21) 1969, S. 484–506.
- Egger, Anton:* [Fertigungsplanung] Kurzfristige Fertigungsplanung und betriebliche Elastizität unter besonderer Berücksichtigung des Betriebes der Serienfertigung mit saisonalen Absatzschwankungen. Berlin 1971.
- Eichhorn, Wolfgang:* Eine Verallgemeinerung des Begriffs der homogenen Produktionsfunktion. In: Unternehmensforschung (13) 1969, S. 99–109.
- [Besprechung] Besprechung zu: Lücke, W., Produktions- und Kostentheorie, 2. Aufl. Würzburg-Wien 1970. In: Unternehmensforschung (15) 1971, S. 222 f.
- [Produktionsfunktion] Theorie der homogenen Produktionsfunktion. Berlin, Heidelberg, New York 1970.
- Eller, Hans Hermann:* Grundprobleme der betriebswirtschaftlichen Kostenlehre. Eine Untersuchung ihrer Ziele und Aussagensysteme. Berlin 1968.
- Ellinger, Theodor:* [Ablaufplanung] Ablaufplanung. Grundfragen der Planung des zeitlichen Ablaufs der Fertigung im Rahmen der industriellen Produktionsplanung. Stuttgart 1959.
- [Durchlaufzeit] Durchlaufzeit. In: Handwörterbuch der Organisation. Hrsg. von Erwin Grochla. Stuttgart 1973, Sp. 459–466.
- Betriebswirtschaftlich-technologische Aspekte zur Fließbanddiskussion. In: Rationalisierung (25) 1974, S. 22–24.
- Reihenfolgeplanung. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1976, Sp. 3411–3420.
- Ellinger, Theodor u. a.:* Modelle im Herstellungsbereich. In: Handwörterbuch des Rechnungswesens. Hrsg. von Erich Kosiol. Stuttgart 1970, Sp. 1179–1207.
- Elsner, Kurt:* [Produktionstheorie] Mehrstufige Produktionstheorie und dynamisches Programmieren. Meisenheim am Glan 1964.
- Emery, Fred E. und Einar Thorsrud:* [Democracy] Form and Content in Industrial Democracy. Some Experiences from Norway and Other European Countries. London und Assen 1969.
- Etzioni, Amitai:* [Analysis] A Comparative Analysis of Complex Organizations. On Power Involvement, and Their Correlates. New York und London 1961.
- Eversheim, Walter:* [Fertigungsplanung] Beitrag zur Fertigungsplanung und -steuerung in der Kleinserien- und Einzelfertigung unter besonderer Berücksichtigung der Teilefamilienfertigung. Diss. Aachen 1965.
- Faddejew, D. K. und W. N. Faddejewa:* [Algebra] Numerische Methoden der linearen Algebra. München, Wien 1964.
- Fäßler, Klaus:* [Mitbestimmung] Betriebliche Mitbestimmung. Verhaltenswissenschaftliche Projektionsmodelle. Wiesbaden 1970.
- Fehr, Edgar:* [Produktionsplanung] Produktionsplanung und -steuerung mit elektronischer Datenverarbeitung. Theoretische Konzeption und ihre praktische Realisierbarkeit. Bern, Stuttgart 1968.

- Fehr, Hendrik: [Methoden] Quantitative Methoden in der Personalplanung. Diss. Hamburg 1973.
- Feltham, G. A.: [Approaches] Some Quantitative Approaches to Planning for Multiproduct Production Systems. In: *The Accounting Review* (45) 1970, S. 11–26.
- Fiedler, E. E.: [Theory] A Theory of Leadership Effectiveness. New York 1967.
- Fleischmann, B.: [Version] Eine primale Version des Dekompositionsverfahrens von Benders. International Series of Numerical Mathematics. Basel 1972.
- Flik, Heinrich: [Organisation] Kybernetische Ansätze zur Organisation des Führungsprozesses der Unternehmung. Berlin 1969.
- Förstner, Karl und Rudolf Henn: [Produktionstheorie] Dynamische Produktionstheorie und lineare Programmierung. 2. Aufl. Meisenheim a. G. 1970.
- Forker, Hans-Joachim: [Wirtschaftlichkeitsprinzip] Das Wirtschaftlichkeitsprinzip und das Rentabilitätsprinzip. Ihre Eignung zur Systembildung. Berlin 1960.
- Foster, J. W. und R. C. Higgins: Modelling the Quality of a Manufacturing Process Using Input-output Analysis. In: *International Journal of Production Research* (10) 1972, S. 141–146.
- Franke, Günter: Zur Ablaufplanung in Netzwerken. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* (23) 1971, S. 106–118.
- [Personalbedarfsplanung] Stellen- und Personalbedarfsplanung. Opladen 1977.
- Franke, Reimund: [Betriebsmodelle] Betriebsmodelle. Rechnungssysteme für Zwecke der kurzfristigen Planung, Kontrolle und Kalkulation. Düsseldorf 1972.
- Freihafer, R. und M. Ullrich: Integrierte Verkaufs-, Produktions- und Investitionsplanung. In: *Zeitschrift für Operations Research* (18) 1974, S. B 11–B 16.
- French, John R. P. jr.: [Theory] A Formal Theory of Social Power. In: *Group Dynamics. Research and Theory*. Hrsg. von Dorwin Cartwright und Alwin Zander. 3. Aufl. New York, Evanston und London 1968, S. 557–568.
- French, John R. P. und Bertram Raven: [Bases] The Bases of Social Power. In: *Group Dynamics*. Hrsg. von Dorwin Cartwright und Alwin Zander. 3. Aufl. New York, Evanston und London 1968, S. 259–269.
- Frese, Erich: Betriebswirtschaftliche Organisationstheorie und Verhaltenswissenschaft. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* (25) 1973, S. 202–209.
- Personalplanung. In: *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1975, Sp. 2937–2955.
- Frisch, Ragnar: [Preistheorie] Einige Punkte einer Preistheorie mit Boden und Arbeit als Produktionsfaktoren. In: *Zeitschrift für Nationalökonomie* (3) 1932, S. 62–104.
- [Dynamic Economics] Propagation Problems and Impulse Problems in Dynamic Economics. In: *Economic Essays in Honour of Gustav Cassel*. London 1933, S. 171–205.
- Theory of Production. Dordrecht 1965.
- Fröhner, K.-D. und H. Martin: [Organisationsstruktur] Organisationsstruktur und wirtschaftliche Entscheidungen. In: *Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung* (68) 1973, S. 489–494.
- Fryer, John S.: Effects of Shop Size and Labor Flexibility in Labor and Machine Limited Production Systems. In: *Management Science* (21) 1974/75, S. 507–515.
- Fuchs, Herbert: [Systemtheorie] Systemtheorie und Organisation. Die Theorie offener Systeme als Grundlage zur Erforschung und Gestaltung betrieblicher Systeme. Wiesbaden 1973.
- Fuchs, Herbert, Helmut Lehmann und Karl-Ernst Möhrstedt: Zur Bestimmung des Zeitverhaltens betrieblicher Systeme. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (42) 1972, S. 779–802.

- Fuessenhaeuser, Albrecht:* Planung und Steuerung des Fertigungsablaufs bei Werkstattfertigung. Diss. Köln 1966.
- Gäfgen, Gérard:* [Theorie] Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung. 2. Aufl. Tübingen 1968.
- Gälweiler, Alois:* [Produktionskosten] Produktionskosten und Produktionsgeschwindigkeit. Wiesbaden 1960.
- Gaitanides, Michael:* Produktionstechnik und Produktionsorganisation. In: Zeitschrift für Organisation (43) 1974, S. 375–382.
- Industrielle Arbeitsorganisation und technische Entwicklung. Berlin, New York 1975.
- Kostentheorie und Job Enrichment. In: Management International Review (16) 1976, Nr. 2, S. 23–35.
- Gal, Tomas:* [Entscheidungsprobleme] Betriebliche Entscheidungsprobleme, Sensitivitätsanalyse und Parametrische Programmierung. Berlin, New York 1973.
- Gaugler, Eduard:* Betriebliche Personalplanung. Eine Literaturanalyse. Göttingen 1974.
- Gaver, D. P. jr.:* [Comparison] A Comparison of Queue Disciplines when Service Orientation Times Occur. In: Naval Research Logistics Quarterly (10) 1963, S. 219–235.
- Gere, William S. jr.:* [Scheduling] Heuristics in Job Shop Scheduling. In: Management Science (13) 1966/67, S. 167–190.
- Gibson, Charles H.:* Volvo Increases Productivity Through Job Enrichment. In: California Management Review (XV) 1973, S. 64–66.
- Gickler, Karl:* Input-Output-Rechnung und Lineare Programmierung – Beziehungen und ökonomische Problematik. Diss. Köln 1962.
- Giffler, B. und G. L. Thompson:* Algorithms for Solving Production Scheduling Problems. o. O. 1959.
- Glassey, C. Rodger:* Dynamic Linear Programs for Production Scheduling. In: Operations Research (19) 1971, S. 45–56.
- Göppel, Hermann:* Die kostentheoretische Aussage der Begriffe Betriebsgröße und Beschäftigungsgrad. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (36) 1966, S. 434–446.
- [Entwicklung] Die neuere Entwicklung der Produktions- und Kostentheorie. In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis (20) 1968, S. 363–375.
- Die praktische Bedeutung der modernen Produktions- und Kostentheorie – Ein Beitrag zur Diskussion betriebswirtschaftlicher Grundsatzfragen in der Bauindustrie. Hrsg. vom Betriebswirtschaftlichen Institut der Westdeutschen Bauindustrie. Düsseldorf 1970.
- Gomory, Ralph E.:* [Algorithm] An Algorithm for Integer Solutions to Linear Programs. In: Recent Advances in Mathematical Programming. Hrsg. von R. L. Graves und Ph. Wolfe. New York u. a. 1963, S. 269–302.
- Graef, Rudolf:* Fragen der simultanen Produktionsplanung. Diss. Köln 1964.
- Graicunas, V. A.:* [Relationship] Relationship in Organization. In: Papers on the Science of Administration. Hrsg. von Luther Gulich und Lyndall F. Urwick. New York 1937, S. 183–187.
- Griem, Heinrich:* [Unternehmungsentscheidung] Der Prozeß der Unternehmungsentscheidung bei unvollkommener Information. Eine Ablauf- und Problemanalyse. Berlin 1968.
- Grochla, Erwin:* [Automation] Automation und Organisation. Die technische Entwicklung und ihre betriebswirtschaftlich-organisatorischen Konsequenzen. Wiesbaden 1966.
- [Einfluß] Der Einfluß der Automatisierung auf die Unternehmungsorganisation. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (36) 1966, S. 271–288.

- Grochla, Erwin:* Erkenntnisstand und Entwicklungstendenzen der Organisationstheorie. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (39) 1969, S. 1–22.
- [Systemtheorie] Systemtheorie und Organisationstheorie. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (40) 1970, S. 1–16.
- [Unternehmungsorganisation] Unternehmungsorganisation. Neue Ansätze und Konzeptionen. Reinbek bei Hamburg 1972.
- [Organisation] Organisation und Organisationsstruktur. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann, Stuttgart 1975, Sp. 2846–2868.
- [Organisationstheorie] Organisationstheorie. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1975, Sp. 2895–2920.
- Grochla, Erwin und Mitarbeiter:* [Gesamtmodelle] Integrierte Gesamtmodelle der Datenverarbeitung. München 1974.
- Große-Oetringhaus, Wigand F.:* [Fertigungstypologie] Fertigungstypologie unter dem Gesichtspunkt der Fertigungsablaufplanung. Berlin 1974.
- Grün, Oskar:* [Lernverhalten] Das Lernverhalten in Entscheidungsprozessen der Unternehmung. Tübingen 1973.
- Günther, Horst:* [Dilemma] Das Dilemma der Arbeitsablaufplanung. Zielverträglichkeit bei der zeitlichen Strukturierung. Berlin 1971.
- Günther, Roland:* [Transportwesen] Prinzipien des Transport- und Lagerwesens im Industriebetrieb unter besonderer Berücksichtigung der Fertigungssysteme. Diss. Nürnberg 1968.
- Guetzkow, Harold:* [Communications] Communications in Organizations. In: Handbook of Organizations. Hrsg. von James G. March. Chicago 1965, S. 534–573.
- Gupta, Jatinder N. D.:* [Scheduling Systems] Economic Aspects of Production Scheduling Systems. In: Journal of the Operations Research Society of Japan (13) 1970/71, S. 169–193.
- Gutenberg, Erich:* [Sortenproblem] Sortenproblem und Losgrößen. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 3. Aufl. Hrsg. von Hans Seischab und Karl Schwantag. Band III, Stuttgart 1960, Sp. 4897–4906.
- [Finanzen] Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Dritter Band. Die Finanzen. 7. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York 1975.
- [Produktion] Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Erster Band. Die Produktion. 21. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York 1975.
- Haberbeck, Hans-Rudolf:* Zur Beschreibung der Abhängigkeitsstruktur des Produktionsverbrauches. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (38) 1968, S. 905–916.
- Hackstein, R. und B. Dienstdorf:* [Kapazitätsplanung] Grundfragen der Kapazitätsplanung und Untersuchung von Verfahren zur Verwirklichung eines möglichst flexiblen Kapazitätsangebotes in Betrieben mit Werkstättenfertigung. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (68) 1973, S. 18–25.
- Hackstein, R. und F. D. Dorloff:* [Sortenfertigung] Wirtschaftliche Sortenfertigung durch abgestimmte Planung des Produktionsprogramms, des Produktionsvollzugs und der Materialbereitstellung. In: Angewandte Informatik (18) 1976, S. 120–131.
- Hackstein, R. und M. H. Kleensang:* [Auswirkungen] Die Auswirkungen der technisch-organisatorischen Entwicklung auf das zeitliche Zusammenwirken von Menschen und Betriebsmitteln. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (68) 1973, S. 537–542.
- Hackstein, R. und B. Paffenholz:* Notwendigkeit einer quantitativen Erfassung organisatorischer Sachverhalte. Der Weg zu einer objektiven organisatorischen Rationalisierung. In: Fortschrittliche Betriebsführung (23) 1974, S. 81–93.

- Hahn*, Dietger: Industrielle Fertigungswirtschaft in entscheidungs- und systemtheoretischer Sicht. In: Neue Betriebswirtschaft und betriebswirtschaftliche Datenverarbeitung (25) 1972, H. 6, S. 1–8, H. 7, S. 8–17 und H. 8, S. 13–23.
- [Produktionsverfahren] Produktionsverfahren (Produktionstypen). In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1975, Sp. 3156–3164.
- Hahn*, Dietger und Jörg Link: [Arbeitsfeldstrukturierung] Motivationsfördernde Arbeitsfeldstrukturierung in der Industrie. In: Zeitschrift für Organisation (44) 1975, S. 65–71.
- Hahn*, Rainer: [Produktionsplanung] Produktionsplanung bei Linienfertigung. Berlin und New York 1972.
- Hammann*, P.: [Organization Structure] Choice of the Organization Structure: A Framework for Quantitative Analysis of Industrial Centralization/Decentralization Issues. In: Zeitschrift für Operations Research (20) 1976, S. B 17–B 35.
- Hanssmann*, F.: [Organisationsstruktur] Optimierung der Organisationsstruktur. Ein erster Versuch am Beispiel einer Vertriebsorganisation. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (40) 1970, S. 17–30.
- Harrmann*, Alfred: Zum Problem der Personalplanung in einem Industriebetrieb. In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis (25) 1973, S. 341–348.
- Harsanyi*, John: [Macht] Messung der sozialen Macht. In: Spieltheorie und Sozialwissenschaften. Hrsg. von M. Shubik. Hamburg 1965, S. 190–215.
- Hasenack*, Wilhelm: [Fließfertigung] Zum Begriff der Fließfertigung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (46) 1976, S. 407–428.
- Hauk*, Wilhelm: [Auftragsplanung] Beitrag zur Lösung des Reihenfolgeproblems bei der Auftragsplanung. Diss. Aachen 1972.
- Hax*, Herbert: [Investitionsplanung] Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der Linearen Programmierung. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (16) 1964, S. 430–446.
- [Koordination] Die Koordination von Entscheidungen. Köln 1965.
 - [Bewertungsprobleme] Bewertungsprobleme bei der Formulierung von Zielfunktionen für Entscheidungsmodelle. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (29) 1967, S. 749–761.
 - [Investitionstheorie] Investitionstheorie. Würzburg, Wien 1970.
- Haynes*, R. P., C. A. Komar und Jack Byrd jr.: [Effectiveness] The Effectiveness of Three Heuristic Rules for Job Sequencing in a Single Production Facility. In: Management Science (19) 1972/73, S. 575–580.
- Heber*, A. und P. Nowak: [Betriebstyp] Betriebstyp und Abrechnungstechnik in der Industrie. In: Festschrift für Eugen Schmalenbach. Leipzig 1933, S. 141–172.
- Heinemeyer*, W.: Die Analyse der Fertigungsdurchlaufzeit im Industriebetrieb. Diss. TU Hannover 1974.
- Heinen*, Edmund: [Kapital] Das Kapital in der betriebswirtschaftlichen Kostentheorie. Wiesbaden 1966.
- [Produktionstheorie] Das Kapital in der Produktions- und Kostentheorie. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (36) 1966. Ergänzungsheft I, S. 53–63.
 - [Zielsystem] Grundlagen betriebswirtschaftlicher Entscheidungen. Das Zielsystem der Unternehmung. 2. Aufl. Wiesbaden 1971.
 - [Einführung] Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. 5. Aufl. Wiesbaden 1974.
 - [Kostenlehre] Betriebswirtschaftliche Kostenlehre. Kostentheorie und Kostenentscheidungen. 4. Aufl. Wiesbaden 1974.

- Held*, Michael, Richard M. *Karp* und Richard *Sharesian*: [Balancing] Assembly-Line Balancing – Dynamic Programming with Precedence Constraints. In: Operations Research (11) 1963, S. 442–459.
- Helgeson*, W. P. und D. P. *Birnie*: [Balancing] Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight Technique. In: The Journal of Industrial Engineering (12) 1961, S. 394–398.
- Heller*, J.: [Experiments] Some Numerical Experiments for an M X J Flow Shop and its Decision-Theoretical Aspects. In: Operations Research (8) 1960, S. 178–184.
- Henn*, R.: Fließbandfertigung und Lagerhaltung bei mehreren Gütern. In: Unternehmensforschung (9) 1965, S. 132–136.
- Henn*, Rudolf und O. *Opitz*: Konsum- und Produktionstheorie. Berlin, Heidelberg, New York 1970.
- Hennig*, Karl Wilhelm: [Organisationslehre] Betriebswirtschaftliche Organisationslehre. 5. Aufl. Wiesbaden 1971.
- Hentze*, F.: Funktionale Personalplanung. Frankfurt/M. 1969.
- [Personalbedarf] Die Hauptdeterminanten des quantitativen Personalbedarfs. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (40) 1970, S. 677–688.
- Henzel*, F.: [Beschäftigungsgrad] Der Beschäftigungsgrad. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (5) 1928, S. 673–684 und 721–745.
- [Kosten] Kosten und Leistung. 4. Aufl. Essen 1967.
- Führungsprobleme der industriellen Unternehmung. Berlin 1973.
- Herriger*, Hans: [Simulationsmodelle] Simulationsmodelle der Fließfertigung. In: Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung. Hrsg. von Karl F. Bussmann und Peter Mertens. Stuttgart 1968, S. 356–372.
- Hershauer*, James C. und Ronald J. *Ebert*: [Search] Search and Simulation Selection of a Job-Shop Sequencing Rule. In: Management Science (21) 1974/75, S. 833–843.
- Herzberg*, F., B. *Mausner* und B. *Snyderman*: [Motivation] The Motivation to Work. New York 1959.
- Heß-Kinznier*, D.: Produktionsplanung mit Belastungsmatrizen. In: Angewandte Informatik (16) 1974, S. 444–450.
- Heß-Kinznier*, D. und K. *Doering*: [Kapazitätsplanung] Grobtermin- und Kapazitätsplanung bei Einzel-, Serien- und Massenfertigung. In: Industrial Engineering (4) 1974, S. 19–30.
- Hildenbrand*, Werner: Über stetige Korrespondenzen. In: Operations Research-Verfahren III. Hrsg. von Rudolf Henn. Meisenheim am Glan 1967, S. 234–248.
- Hill*, Wilhelm, Raymond *Fehlbaum* und Peter *Ulrich*: [Organisationslehre] Organisationslehre. Ziele, Instrumente und Bedingungen der Organisation sozialer Systeme. Bern und Stuttgart 1974 (2 Bände).
- Hillier*, Frederick S.: [Cost Models] Cost Models for the Application of Priority Waiting Line Theory to Industrial Problems. In: The Journal of Industrial Engineering (16) 1965, S. 178–185.
- Hinrichsen*, Jens: [Prioritätsregeln] Ablaufplanung mit Prioritätsregeln. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (44) 1974, S. 811–828.
- Branch- and Bound-Verfahren zur Lösung des Rundreiseproblems. Diss. Hamburg 1975.
- Hinterhuber*, Hans H.: Entwicklungslinien der Arbeitsorganisation. In: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering (24) 1975, S. 197–203.
- Der Weg zu neuen Formen der Arbeitsorganisation. In: Zeitschrift für Organisation (44) 1975, S. 425–432.

- Hirsch, Werner Z.: [Technological Progress] Technological Progress and Microeconomic Theory. In: *The American Economic Review* (LIX) 1969, S. 36–43.
- Hoch, Peter: Zur Reihenfolgeoptimierung bei langfristiger Einzelfertigung. In: *Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung*. Hrsg. von Karl F. Bussmann und Peter Mertens. Stuttgart 1968, S. 270–285.
- Hoffmann, Friedrich: [Organisationsforschung] Entwicklung der Organisationsforschung. Wiesbaden 1973.
- Hoffmann, Friedrich und Rolf Bühner: [Organisationsgestaltung] Organisationsgestaltung – Probleme, Konzeptmerkmale und Ergebnisse –. Wiesbaden 1976.
- Hoffmann, Thomas R.: [Balancing] Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix. In: *Management Science* (9) 1962/63, S. 551–562.
- Hofstätter, Peter R.: [Gruppendynamik] Gruppendynamik. Kritik der Massenpsychologie. Neuauflage, Reinbek bei Hamburg 1971.
- Höitsch, Hans-Jörg: [Seriengrößenmodelle] Aggregatbezogene Seriengrößenmodelle und Typenkombinationen in der Mehrproduktmassenfertigung. In: *Die Unternehmung* (29) 1975, S. 43–56.
- Hollander, Edwin P.: [Principles] Principles and Methods of Social Psychology. London und Toronto 1967.
- Holloway, C. A. und R. T. Nelson: [Scheduling] Job Shop Scheduling with Due Dates and Variable Processing Times. In: *Management Science* (20) 1973/74, S. 1264–1275.
- Holm, Kurt: [Macht] Zum Begriff der Macht. In: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* (21) 1969, S. 269–288.
- Holt, Charles C., Franco Modigliani und Herbert A. Simon: [Decision Rule] A Linear Decision Rule for Production and Employment Scheduling. In: *Management Science* (2) 1955/56, S. 1–30.
- Hornigren, Charles T.: [Accounting] Accounting for Management Control. An Introduction. 2. Aufl. Englewood Cliffs/N. J. 1970.
- Hoschka, Peter: [Planung] Planung des Produktionsprogramms bei konkurrierender Produktion. In: *Zeitschrift für Nationalökonomie* (23) 1963, S. 18–70.
- Hoss, Klaus: [Fertigungsablaufplanung] Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden unter besonderer Berücksichtigung des Ablaufplanungsdilemmas in der Werkstattfertigung. Würzburg, Wien 1965.
- Hrebinak, Lawrence, G.: Job Technology, Supervision, and Work-Group Structure. In: *Administrative Science Quarterly* (19) 1974, S. 395–410.
- Hu, Te Chiang und W. Prager: [Analysis] Network Analysis of Production Smoothing. In: *Naval Research Logistics Quarterly* (6) 1959, S. 17–23.
- IBM: [Programming System] IBM Mathematical Programming System Extended/370 (MPSX/370). General Information Manual. o. O. 1974.
- Ihde, Gösta-Bernd: [Analysen] Dynamische Analysen und unternehmerische Entscheidungen bei Unsicherheit. In: *Entscheidung bei unsicheren Erwartungen. Beiträge zur Theorie der Unternehmung*. Hrsg. von Herbert Hax. Köln und Opladen 1970, S. 53–68.
- [Lernprozesse] Lernprozesse in der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (40) 1970, S. 451–468.
- Illetschko, Leopold L.: Transport-Betriebswirtschaftslehre. 2. Aufl. Wien, New York 1966.
- Industrial Scheduling: Hrsg. von John F. Muth u. a. Englewood Cliffs/N. J. 1963.
- [Informationsverhalten] Das Informationsverhalten in Entscheidungsprozessen. Hrsg. von Eberhard Witte. Tübingen 1972.
- Jackson, James R.: [Queues] Queues with Dynamic Priority Discipline. In: *Management Science* (8) 1961/62, S. 18–34.

- Jacob, Herbert: [Ertragsgesetz] Zur neueren Diskussion um das Ertragsgesetz. In: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung N. F. (9) 1957, S. 598–618.
- [Produktionsplanung] Produktionsplanung und Kostentheorie. In: Zur Theorie der Unternehmung. Festschrift zum 65. Geburtstag von Erich Gutenberg. Hrsg. von Helmut Koch. Wiesbaden 1962, S. 205–268.
- Flexibilitätsüberlegungen in der Investitionsrechnung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (37) 1967, S. 1–34.
- Zum Problem der Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (37) 1967, S. 153–187.
- [Investitionsplanung] Investitionsplanung mit Hilfe der Optimierungsrechnung. In: Optimale Investitionspolitik. Schriften zur Unternehmensführung. Band 4. Hrsg. von H. Jacob. Wiesbaden 1968, S. 93–115.
- [Entwicklungen] Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung. Wiesbaden 1974.
- Jäger, Otto: [Teilzeiten] System der vorbestimmten Teilzeiten. Untersuchungen über ihre Anwendungsmöglichkeiten und ihre betriebswirtschaftliche Bedeutung für die industrielle Fertigung. Diss. Hamburg 1962.
- Jaksch, Hans Jürgen: [Wirtschaftsplanung] Beiträge zur Theorie der Wirtschaftsplanung: Probleme einer gesamtwirtschaftlichen Anwendung des „Linear Programming“. Diss. Frankfurt/M. 1958.
- [Typisierung] Eine Typisierung dynamischer Input-Outputmodelle. In: Zeitschrift für Nationalökonomie (24) 1964, S. 403–418.
- Jarr, Klaus: [Personalplanung] Simultane Produktions- und Personalplanung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (44) 1974, S. 685–702.
- Johansen, Leif: Production Functions. An Integration of Micro and Macro, Short Run and Long Run Aspects. Amsterdam, London 1972.
- Johnson, S. M.: [Production Schedules] Optimal Two-and Three-Stage Production Schedules with Set-up Times Included. In: Naval Research Logistics Quarterly (1) 1954, S. 61–68.
- Joksch, H. C.: [Programme] Lineare Programme mit zeitlichen Bedingungen. Diss. Münster 1962.
- Jones, E. und E. Gerard: [Foundation] Foundation of Social Psychology. New York, London, Sydney 1967.
- Kaack, J. R.: Simultane Produktions- und Transportplanung mit einem hierarchischen Optimierungssystem. In: Zeitschrift für Operations Research (18) 1974, S. B 149–B 158.
- Kahrede, Heinz-Jürgen: Zur Theorie der Mehrprodukt- und Mehrstufenunternehmung. Göttingen 1972.
- Käppler, M.: Probleme und Verfahren der Ablaufplanung bei industrieller Einzelfertigung. Frankfurt/M. 1969.
- Kalveram, Wilhelm: [Industriebetriebslehre] Industriebetriebslehre. 8. Aufl. Wiesbaden 1972.
- Kappler, Ekkehard: [Systementwicklung] Systementwicklung. Lernprozesse in betriebswirtschaftlichen Organisationen. Wiesbaden 1972.
- Karrenberg, R. und A.-W. Scheer: [Ableitung] Ableitung des kostenminimalen Einsatzes von Aggregaten zur Vorbereitung der Optimierung simultaner Planungssysteme. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (40) 1970, S. 689–706.
- Kast, Fremont E. und James E. Rosenzweig: [Organization] Organization and Management. A Systems Approach. New York u. a. 1970.
- Katz, Daniel und Robert L. Kahn: [Organizations] The Social Psychology of Organizations. New York, London und Sydney 1966.

- Keachie, E. C.: [Cost Reduction] Manufacturing Cost Reduction through the Curve of Natural Productivity Increase, Prepared by the Institute of Business and Economic Research. University of California. Berkeley 1964.*
- Keachie, E. C. und Robert J. Fontana: [Effects] Effects of Learning on Optimal Lot Size. In: Management Science (13) 1966/67, S. B 102–B 108.*
- Kempermann, Jörg, Werner Landsberg und Peter Rust: PICS als Grundlage eines Planungs-, Informations- und Steuerungssystems im Bereich der Material- und Zeitwirtschaft. In: IBM-Nachrichten (24) 1974, S. 201–206.*
- Kern, Werner: Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihrer Ausnutzung. Köln und Opladen 1962.*
- [Empfindlichkeit] Die Empfindlichkeit linear geplanter Programme. In: Betriebsführung und Operations Research. Hrsg. von A. Angermann. Frankfurt/M. 1963, S. 49–79.
- [Optimierungsverfahren] Optimierungsverfahren in der Ablauforganisation. Essen 1967.
- [Impulsbezug] Der Impulsbezug dynamischer Fragestellungen in der Betriebswirtschaftslehre. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaftslehre (39) 1969, S. 343–368.
- [Industriebetriebslehre] Industriebetriebslehre. Grundlagen einer Lehre von der Erzeugungswirtschaft. Stuttgart 1970.
- [Produktionswirtschaft] Die Produktionswirtschaft als Erkenntnisbereich der Betriebswirtschaft. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (28) 1976, S. 756–767.
- Kiehne, Rolf: Innerbetriebliche Standortplanung und Raumzuordnung. Wiesbaden 1969.*
- Kieser, Alfred: [Organisationsstruktur] Der Einfluß der Fertigungstechnologie auf die Organisationsstruktur industrieller Unternehmungen. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (26) 1974, S. 569–590.*
- [Umwelt] Der Einfluß der Umwelt auf die Organisationsstruktur der Unternehmung. In: Zeitschrift für Organisation (43) 1974, S. 302–314.
- Kilger, Wolfgang: [Produktionstheorie] Produktions- und Kostentheorie. Wiesbaden 1958.*
- Der Faktor Arbeit im System der Produktionsfaktoren. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (31) 1961, S. 597–611.
- [Erfolgsrechnung] Kurzfristige Erfolgsrechnung. Wiesbaden 1962.
- [Mehrarbeitszeiten] Die optimale Planung kapazitätserhöhender Mehrarbeitszeiten und Zusatzschichten im Industriebetrieb. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (23) 1971, S. 776–792.
- [Plankostenrechnung] Flexible Plankostenrechnung. Theorie und Praxis der Grenzplankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung. 5. Aufl. Opladen 1972.
- [Produktionsplanung] Optimale Produktions- und Absatzplanung. Entscheidungsmodelle für den Produktions- und Absatzbereich industrieller Betriebe. Opladen 1973.
- Kirsch, Werner: [Entscheidungsprozesse II] Entscheidungsprozesse. Zweiter Band: Informationsverarbeitungstheorie des Entscheidungsverhaltens. Wiesbaden 1971.*
- [Entscheidungsprozesse III] Entscheidungsprozesse. Dritter Band: Entscheidungen in Organisationen. Wiesbaden 1971.
- Kirsch, Werner und Heribert Meffert: [Organisationstheorien] Organisationstheorien und Betriebswirtschaftslehre. Wiesbaden 1970.*
- Kistner, Klaus-Peter: Betriebsstörungen und Warteschlangen. Die Erfassung störungsbedingter Stauungen mit der Warteschlangentheorie. Opladen 1974.*
- Klaus, Joachim: Produktions- und Kostentheorie. Stuttgart 1974.*
- Kleensang, Max H.: Quantifizierung des menschlichen Leistungseinsatzes bei hochmechanisierten Mensch-Maschine-Systemen. Diss. Aachen 1973.*

- Klein, Morton: [Balancing] On Assembly Line Balancing. In: Operations Research (11) 1963, S. 274–281.*
- Klingen, Bruno und Dietrich Schick: [Lösungsmethode] Eine Lösungsmethode für die simultane Produktionsplanung, dargestellt am Beispiel eines Modells für bergbauliche Gewinnungsbetriebe. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (24) 1972, S. 497–518.*
- Klis, Manfred: [Überzeugung] Überzeugung und Manipulation. Wiesbaden 1970.*
- Kloock, Josef: [Input-Output-Modelle] Betriebswirtschaftliche Input-Output-Modelle. Ein Beitrag zur Produktionstheorie. Wiesbaden 1969.*
- [Produktionstheorie] Zur gegenwärtigen Diskussion der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie und Kostentheorie. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (39) 1969, 1. Ergänzungsheft, S. 49–82.
- [Produktionsplanungsmodelle] Kurzfristige Produktionsplanungsmodelle auf der Basis von Entscheidungsfeldern mit den Alternativen Fremd- und Eigenfertigung (mit variablen Produktionstiefen). In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (26) 1974, S. 671–682.
- [Input-Output-Analyse] Input-Output-Analyse. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1975, Sp. 1959–1966.
- Knödel, Walter: [Methoden] Graphentheoretische Methoden und ihre Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York 1969.*
- Knolmayer, Gerhard: Systematisierungsversuche in der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie. In: Der österreichische Betriebswirt (23) 1973, S. 87–101.*
- Knop, W.: [Probleme] Probleme und Möglichkeiten der Kostenmodellierung in Chemiebetrieben. In: Chem. Techn. (21) 1969, S. 45–51 und 105–108.*
- Knudsen, Niels Chr.: Production and Cost Models of a Multi-Product Firm. A Mathematical Programming Approach. Odense 1973.*
- Kockelkorn, Götz: [Verweilzeitverteilungen] Verweilzeitverteilungen und Prognosen im betrieblichen Produktionsbereich. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (23) 1971, S. 83–105.*
- Köbel, H. und J. Schulze: [Produktionstypen] Die Abgrenzung chemischer Produktionsarten nach Leistungsprogramm, Fertigungsorganisation und Prozeßführung. In: Industrielle Organisation (34) 1965, S. 149–162.*
- König, Dénes: [Graphen] Theorie der endlichen und unendlichen Graphen. New York o.J.*
- Kogelschatz, Hartmut: A Dynamic Input-Output Model with Variable Production Structure. In: Production Theory. Proceedings of an International Seminar Held at the University of Karlsruhe May-July 1973. Hrsg. von W. Eichhorn u. a. Berlin, Heidelberg, New York 1974, S. 109–120.*
- Koopmans, Tjalling C.: [Production] Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. In: Activity Analysis of Production and Allocation. Hrsg. von Tjalling C. Koopmans. New York, London und Sydney 1951, S. 33–97.*
- Kosiol, Erich: [Buchhaltung] Kalkulatorische Buchhaltung (Betriebsbuchhaltung). Systematische Darstellung der Betriebsabrechnung und der kurzfristigen Erfolgsrechnung. 5. Aufl. Wiesbaden 1953.*
- [Wesensmerkmale] Kritische Analyse der Wesensmerkmale des Kostenbegriffes. In: Betriebsökonomisierung durch Kostenanalyse, Absatzrationalisierung und Nachwuchserziehung. Festschrift für Rudolf Seiffert zu seinem 65. Geburtstag. Hrsg. von Erich Kosiol und Friedrich Schlieper. Köln und Opladen 1958, S. 7–37.
- [Organisation] Organisation der Unternehmung. Wiesbaden 1962.

- Kosiol, Erich:* [Aktionszentrum] Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum. Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. Reinbek bei Hamburg 1966.
- [Aufbauorganisation] Aufbauorganisation. In: Handwörterbuch der Organisation. Hrsg. von Erwin Grochla. Stuttgart 1969, Sp. 172–191.
- Kosiol, Erich, Norbert Szyperski und Klaus Chmielewicz:* [Systemforschung] Zum Standort der Systemforschung im Rahmen der Wissenschaften. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (17) 1965, S. 337–378.
- Kossbiel, Hugo:* [Kontrollspanne] Kontrollspanne und Führungskräfteplanung. In: Grundfragen der betrieblichen Personalpolitik. Hrsg. von Walter Braun, Hugo Kossbiel und Gerhard Reber. Wiesbaden 1972, S. 87–111.
- [Personalplanung] Probleme und Instrumente der betrieblichen Personalplanung. In: Personalplanung. Schriften zur Unternehmensführung. Band 20. Hrsg. von H. Jacob. Wiesbaden 1974, S. 5–39.
- Kramer, Rolf:* [Information] Information und Kommunikation. Berlin 1965.
- Kreikebaum, Hartmut:* Beschäftigungsänderungen und ihre Auswirkungen auf die Betriebsorganisation. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (20) 1968, S. 600–617.
- Krelle, Wilhelm:* Ganzzahlige Programmierungen. Theorie und Anwendung in der Praxis. In: Unternehmensforschung (2) 1958, S. 161–175.
- [Gesamtrechnung] Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung einschließlich input-output Analyse mit Zahlen für die Bundesrepublik Deutschland. 2. Aufl. Berlin 1967.
- [Produktionstheorie] Produktionstheorie. Teil I der Preistheorie 2. Auflage. Tübingen 1969.
- Krieg, Walter:* [Arbeitsgruppen] Autonome Arbeitsgruppen/Selbstfahrende Montagestationen/Erweiterter Computereinsatz im Werkstattbereich. In: Industrielle Organisation (44) 1975, S. 3–8.
- Krippendorf, H. und B. H. Auer:* [Bedeutung] Die Bedeutung des Lagers für die Produktions- und Materialbesteuerung. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (69) 1974, S. 101–104.
- Krüger, Wilfried:* [Macht] Macht in der Unternehmung. Stuttgart 1974.
- Kruschwitz, Lutz:* [Produktionsbegriffe] Kritik der Produktionsbegriffe. In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis (26) 1974, S. 242–258.
- Zur Programmplanung bei Kuppelproduktion. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (26) 1974, S. 96–109.
- Kruschwitz, L. und H.-J. Lenz:* BÖMKL – ein kosten- und erlösorientiertes betriebliches, rekursives Mehrgleichungsmodell. In: Proceedings in Operations Research 3. Hrsg. von P. Gessner u. a. Würzburg-Wien 1974, S. 443–453.
- Kubicek, Herbert:* [Informationstechnologie] Informationstechnologie und organisatorische Regelungen. Berlin 1975.
- Küching, Karl-Friedrich:* [Personalplanung] Personalplanung und Unternehmensforschung. Baden-Baden und Bad Homburg v. d. H. 1973.
- Küpper, Hans-Ulrich:* [Mitbestimmung] Grundlagen einer Theorie der betrieblichen Mitbestimmung. Wissenschaftslogische und realtheoretische Perspektiven einer betriebswirtschaftlichen Analyse der betrieblichen Mitbestimmung. Berlin 1974.
- [Produktionsfunktionen] Produktionsfunktionen. In: WiSt – Wirtschaftswissenschaftliches Studium (5) 1976, S. 129–134.
- [Programmierungsmodelle] Vergleichende Analyse ganzzahliger Programmierungsmodelle zur Ablaufplanung industrieller Unternehmungen. Arbeitsbericht Nr. 2 der Forschungsabteilung für Industriewirtschaft am Wirtschaftswissenschaftlichen Seminar der Universität Tübingen. Tübingen 1976.

- Kiipper, Hans-Ulrich: Das Input-Output-Modell als allgemeiner Ansatz für die Produktionsfunktion der Unternehmung. In: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik* (191) 1977, S. 492–519.
- Dynamische Produktionsfunktion der Unternehmung auf der Basis des Input-Output-Ansatzes. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (49) 1979, S. 93–106.
- Kunreuther, Howard: Production-planning Algorithms for the Inventory-overtime Trade-off. In: *Operations Research* (19) 1971, S. 1717–1729.
- Kupsch, Peter Uwe: [Job Enlargement] Job Enlarge. In: *Handwörterbuch des Personalwesens*. Hrsg. von Eduard Gaugler. Stuttgart 1975, Sp. 1077–1083.
- Kunath, D.: Die Anwendung der Matrizenrechnung bei der Planung des Produktionsprogramms im chemischen Industriebetrieb. In: *Fertigungstechnik und Betrieb* (11) 1961, S. 559–563.
- Lange, Oskar: [Econometrics] *Introduction to Econometrics*. 2. Aufl. Warschau 1962.
- Langen, Heinz: [Organisationslehre] Bemerkungen zur betriebswirtschaftlichen Organisationslehre. In: *Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis* (5) 1953, S. 455–464.
- [Liquiditätsbegriff] Bemerkungen zum Liquiditätsbegriff. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (29) 1959, S. 87–96.
- Der Betrieb als Regelkreis. In: *Organisation und Rechnungswesen. Festschrift für Erich Kosiol zu seinem 65. Geburtstag*. Hrsg. von Erwin Gochla. Berlin 1964, S. 85–100.
- [Prognose] Die Prognose von Zahlungseingängen. Die Abhängigkeit der Bareinnahmen von Umsätzen und Auftragseingängen in dynamischer Betrachtung. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (34) 1964, S. 289–326.
- [Zahlungsströme] Betriebliche Zahlungsströme und ihre Planung in dynamischer Sicht. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (35) 1965, S. 261–279.
- [Grundzüge] Grundzüge einer betriebswirtschaftlichen Dispositionenrechnung. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (36) 1966, Ergänzungsheft I, S. 71–81.
- [Statik] Das Handikap der Statik. In: *Der Volkswirt* (20) 1966, Nr. 48, S. 2307–2310.
- [Dispositionenrechnung] Die betriebswirtschaftliche Dispositionenrechnung im Dienste der Unternehmensführung. In: *Unternehmensführung auf neuen Wegen*. Hrsg. von Rudolf W. Stöhr. Wiesbaden 1967, S. 231–243.
- [Betriebsprozeß] Der Betriebsprozeß in dynamischer Darstellung. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* (38) 1968, S. 867–880.
- [Dispositionen] Dispositionen und Vollzug im Betrieb. Grundzüge einer dynamischen ex-post-Analyse des Betriebsprozesses. *Arbeitsbericht* 76/1, Tübingen 1976.
- Langen, Heinz, Robert Edin, Götz Kockelkorn, Hermann Schmitt und Fritz Weinthal: [Unternehmensplanung] Unternehmensplanung mit Verweilzeitverteilungen. Eine Anleitung für Praktiker. Berlin 1971.
- Lanznauer, Christoph Haehling von: [Produktionsprozeß] Optimale Lagerhaltung im Produktionsprozeß. Diss. Bonn 1966.
- [Lagerhaltung] Optimale Lagerhaltung bei mehrstufigen Produktionsprozessen. In: *Unternehmensforschung* (11) 1967, S. 33–48.
- [Model] A Production Scheduling Model by Bivalent Linear Programming. In: *Management Science* (17) 1970/71, S. 105–111.
- Lanznauer, Christoph Haehling von und Richard C. Himes: [Solution] A Linear Programming Solution to the General Sequencing Problem. In: *Journal of the Canadian Operational Research Society* (6) 1970, S. 129–153.
- Laßmann, Gert: [Produktionsfunktion] Die Produktionsfunktion und ihre Bedeutung für die betriebswirtschaftliche Kostentheorie. Köln und Opladen 1958.

- Laßmann, Gert*: [Erlösrechnung] Die Kosten- und Erlösrechnung als Instrument der Planung und Kontrolle in Industriebetrieben. Düsseldorf 1968.
- Die Kosten- und Erlösrechnung als Grundlage der kurzfristigen Planung in Industriebetrieben. In: Unternehmerische Planung und Entscheidung. Hrsg. von Walther Busse von Colbe und Peter Meyer-Dohm. Bielefeld 1969, S. 113–143.
- [Produktionsplanung] Produktionsplanung. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1975, Sp. 3102–3121.
- Lattmann, Charles*: [Arbeitsgruppe] Das norwegische Modell der selbstgesteuerten Arbeitsgruppe. Ein Beitrag zur Verwirklichung der Mitbestimmung am Arbeitsplatz. Bern 1972.
- Lauenstein, G.*: [Probleme] Probleme bei der Aufstellung und Anwendung von Matrizenmodellen der Kosten in Chemiebetrieben. Diss. TH f. Chemie Leuna-Merseburg 1965.
- Lauenstein, G. und H. Tempel*: Betriebliche Matrizenmodelle. Probleme bei ihrer Aufstellung und Anwendung in der Grundstoffindustrie. Leipzig 1969.
- Lawrence, P. R. und J. W. Lorsch*: [Organization] Organization and Environment. Boston 1967.
- Leavitt, Harold J.*: [Psychology] Managerial Psychology. An Introduction to Individuals, Pairs, and Groups in Organizations. 2. Aufl. Chicago und London 1964.
- Lehmann, Helmut*: [Aufbauorganisation] Aufbauorganisation. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1974, Sp. 290–298.
- Leontief, Wassily W.*: [Structure] The Structure of American Economy, 1919–1939. 2. Aufl. New York 1951.
- [Dynamic analysis] Dynamic analysis. In: Studies in the Structure of the American Economy. Von Wassily Leontief u. a. New York 1953, S. 53–90.
- [Input-output analysis] Input-output analysis. In: Input-Output Economics. Von Wassily Leontief. New York 1966, S. 134–155.
- Likert, Rensis*: [Management] New Patterns of Management. New York, Toronto, London 1961.
- Lilien, Gary L. und Ambar G. Rao*: A Model for Manpower. In: Management Science (21) 1974/75, S. 1447–1457.
- Lösch, E. G.*: Anwendung der Theorie der Graphen auf ein Problem der auftragsgebundenen Produktionsdisposition. In: Ablauf- und Planungsforschung (5) 1964, S. 124–132.
- Loitsberger, Erich*: Faktor oder Prozeß als Grundbegriff der Betriebswirtschaftslehre. In: Beiträge zur Begriffsbildung und Methode der Betriebswirtschaftslehre. Festschrift für Willy Bouffier zur Vollendung seines 60. Lebensjahres. Hrsg. von Rudolf Bratschitsch und Karl Vodrazka. Wien 1965, S. 112–134.
- Luce, R. Duncan und Howard Raiffa*: [Games] Games and Decisions. New York 1958.
- Lücke, Wolfgang*: [Probleme] Probleme der quantitativen Kapazität in der industriellen Erzeugung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (35) 1965, S. 354–369.
- [Produktionstheorie] Produktions- und Kostentheorie. 3. Aufl. Würzburg, Wien 1973.
- [Qualitätsprobleme] Qualitätsprobleme in der Produktions- und Absatztheorie. In: Zur Theorie des Absatzes. Hrsg. von Helmut Koch. Wiesbaden 1973, S. 263–299.
- Luhmer, Alfred*: [Produktionsprozesse] Maschinelle Produktionsprozesse. Ein Ansatz dynamischer Produktions- und Kostentheorie. Opladen 1975.
- Männel, Wolfgang*: Die Entstehung von Zwischenlagerungen in Industriebetrieben. In: Zeitschrift für industrielle Organisation (34) 1965, S. 17–34.

- Mag.* Wolfgang: [Kommunikationsstruktur] Die quantitative Erfassung der Kommunikationsstruktur und ihre Bedeutung für die Gestaltung der Unternehmensorganisation. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (22) 1970, S. 22–49.
- [Organisationstheorie] Grundlagen einer betriebswirtschaftlichen Organisationstheorie. Eine Analyse der Beziehungen zwischen unternehmerischer Zielsetzung, Entscheidungsprozeß und Organisationsstruktur. 2. Aufl. Opladen 1971.
- Magee*, John F.: Production Planning and Inventory Control. New York u. a. 1967.
- Manne*, Alan S.: [Scheduling Problem] On the Job-Shop Scheduling Problem. In: Operations Research (8) 1960, S. 219–223.
- Mansoor*, E. M.: [Balancing] Assembly Line Balancing – An Improvement of the Ranked Positional Weight Technique. In: The Journal of Industrial Engineering (15) 1964, S. 73–77.
- March*, James G. und Herbert A. *Simon*: [Organizations] Organizations. 3. Aufl. New York und London 1961.
- Marschak*, J.: [Theory of Teams] Elements for a Theory of Teams. In: Management Science (1) 1954/55, S. 127–137.
- Marx*, August: [Einflußgrößen] Einflußgrößen der menschlichen Arbeitsergiebigkeit. In: Personalführung. Band I: Beiträge zur Problematik menschlicher Arbeitsleistung im Betrieb. Hrsg. von August Marx. Wiesbaden 1969, S. 17–36.
- Matthes*, Winfried: [Probleme] Probleme der simultanen Optimierung von Leistungsprozessen in Unternehmungen. Berlin 1970.
- [Grundmodelle] Grundmodelle der Prozeßstruktur der Unternehmung. Berlin 1972.
- [Extension] An Extension of Multi-Project Scheduling to Capacity Planning and Financing. Arbeitspapier Nr. 4/1975 des Instituts für Unternehmungsführung im Fachbereich Wirtschaftswissenschaft der Freien Universität Berlin. Berlin 1975.
- Maslow*, A. H.: [Motivation] Motivation and Personality. 2. Aufl. New York 1970.
- May*, A. J. Gaylord: A Linear Program for Economic Lot Sizes Using Labor Priorities. In: Management Science (21) 1974/75, S. 277–285.
- Maynard*, H. B., G. J. Stegemerten und J. L. Schwab: [Methods-Time-Measurement] Methods-Time-Measurement. New York, Toronto, London 1948.
- McGregor*, D.: [Enterprise] The Human Side of Enterprise. New York, Toronto und London 1960.
- McGuire*, C. B.: [Team Models] Some Team Models of a Sales Organization. In: Management Science (7) 1960/61, S. 101–130.
- McKinsey & Co.*: [Einsatz] Der optimale Einsatz elektronischer Datenverarbeitungsanlagen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (34) 1964, S. 37–50.
- Meffert*, Heribert: [Kosteninformationen] Betriebswirtschaftliche Kosteninformationen. Wiesbaden 1968.
- Meier*, Doris und Hellmut Seidel: [Planung] Die Planung der zeitlichen Verteilung des Arbeitszeitbedarfs nach Durchlaufabschnitten im Industriebetrieb mittels eines Matrixmodells. In: Wirtschaftswissenschaft (13) 1965, S. 628–643.
- Mellerowicz*, Konrad: [Grundlagen] Grundlagen der betriebswirtschaftlichen Organisation. In: Organisation. TFB-Handbuchreihe, 1. Bd. Hrsg. von Erich Schnaufer und Klaus Agthe. Berlin, Baden-Baden 1961, S. 1–28.
- [Industrie] Betriebswirtschaftslehre der Industrie. 6. Aufl. Band II. Freiburg i. B. 1968.
- Menrad*, Siegfried: [Kostenbegriff] Der Kostenbegriff. Eine Untersuchung über den Gegenstand der Kostenrechnung. Berlin 1965.
- [Kosten] Kosten und Leistung. In: Handwörterbuch des Rechnungswesens. Hrsg. von Erich Kosiol. Stuttgart 1970, Sp. 870–879.

- Mensch*, Gerhard: [Ablaufplanung] Ablaufplanung. Köln, Opladen 1968.
- [Personalplanung] Instrumente der kurzfristigen Personalplanung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (38) 1968, S. 469–494.
 - Das Trilemma der Ablaufplanung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (42) 1972, S. 77–88.
- Mertens*, Peter: [Instandhaltungstheorie] Die gegenwärtige Situation der betriebswirtschaftlichen Instandhaltungstheorie. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (38) 1968, S. 805–836.
- [Auswahl] Die Auswahl einer Instandhaltungsstrategie. In: Zeitschrift für Organisation (41) 1972, S. 297–304.
- Meyhak*, H.: [Gesamtplanung] Simultane Gesamtplanung im mehrstufigen Mehrproduktunternehmen. Ein Modell der dynamischen linearen Planungsrechnung. Wiesbaden 1970.
- Mirow*, Heinz Michael: [Kybernetik] Kybernetik. Grundlage einer allgemeinen Theorie der Organisation. Wiesbaden 1969.
- Mitten*, L. G.: [Sequencing] Sequencing n Jobs on two Machines with Arbitrary Time Lags. In: Management Science (5) 1958/59, S. 293–298.
- Mohr*, Lawrence B.: Organizational Technology and Organizational Structure. In: Administrative Science Quarterly (16) 1971, S. 444–459.
- Moodie*, C. L. und H. H. Young: [Balancing] A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times. In: The Journal of Industrial Engineering (16) 1965, S. 23–29.
- Müller*, Eckhard: [Lagerdisposition] Simultane Lagerdisposition und Fertigungsablaufplanung bei mehrstufiger Mehrproduktfertigung. Berlin, New York 1972.
- Müller*, J. Heinz: [Produktionstheorie] Produktionstheorie. In: Kompendium der Volkswirtschaftslehre. Hrsg. von Werner Ehrlicher u. a. Band 1. 5. Aufl. Göttingen 1975, S. 57–113.
- Müller*, Otto: Exakte und heuristische Methoden zur Lösung von Reihenfolgeproblemen. In: Praktische Studien zur Unternehmensforschung. Von E. Nievergelt u. a. Berlin, Heidelberg, New York 1970, S. 49–146.
- Müller-Hagedorn*, Lothar: [Personalbestandsplanung] Grundlagen der Personalbestandsplanung. Opladen 1970.
- [Organisationsstruktur] Ein Ansatz zur Optimierung der Organisationsstruktur. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (41) 1971, S. 705–716.
 - Zur Systematik der Kostenbeeinflussungsfaktoren und Ermittlung des quantitativen Personalbedarfs. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (41) 1971, S. 418–423.
- Müller-Merbach*, Heiner: Optimale Losgrößen bei mehrstufiger Fertigung. In: Ablauf- und Planungsforschung (4) 1963, S. 264–274.
- [Gozintograph] Die Berechnung des Nettoteilebedarfs aus dem Gozintograph. In: Ablauf- und Planungsforschung (5) 1964, S. 191–198.
 - [Anwendung] Die Anwendung des Gozintographen zur Berechnung des Roh- und Zwischenproduktbedarfs in chemischen Betrieben. In: Ablauf- und Planungsforschung (7) 1966, S. 187–198.
 - [Berechnung] Die Berechnung des unterminierten und terminierten Teilebedarfs mit dem Gozinto-Graph. In: Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung. Hrsg. von Karl F. Bussmann und Peter Mertens. Stuttgart 1968, S. 109–120.
 - [Reihenfolgen] Optimale Reihenfolgen. Berlin, Heidelberg, New York 1970.
 - [Abteilungsgliederung] OR-Ansätze zur optimalen Abteilungsgliederung in Institutionen. In: Unternehmensführung und Organisation. Hrsg. von Werner Kirsch. Wiesbaden 1973, S. 93–124.

- Müller-Merbach, Heiner:* [Operations Research] Operations Research. Methoden und Modelle der Optimalplanung. 3. Aufl. München 1973.
- Stand, Aufgaben und offene Fragen der Organisationstheorie. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (29) 1975, S. 66–71.
- Muscati, Mustafa:* Die zeitliche Optimierung von Objektfolgen bei kontinuierlichen mehrstufigen Prozessen. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (19) 1967, S. 297–305.
- Naddor, Eliezer:* Inventory Systems. New York, London, Sydney 1966.
- Naslin, Pierre:* [Dynamik] Dynamik linearer und nichtlinearer Systeme. Mathematische Methoden zu ihrer Behandlung. München, Wien 1968.
- Nastansky, Ludwig und Klaus Dellmann:* [Planung] Die Planung gewinnmaximaler Bedienungssysteme bei Mehrstellenarbeit. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (39) 1969, S. 713–736.
- Neuberger, Oswald:* [Arbeitszufriedenheit] Theorien der Arbeitszufriedenheit. Stuttgart u. a. 1974.
- Nemhauser, George L. und Henry L. W. Nuttle:* [Approach] A Quantitative Approach to Employment Planning. In: Management Science (11) 1964/65, S. B 155–B 165.
- von Neumann, John und Oskar Morgenstern:* [Spieltheorie] Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten. Würzburg 1961.
- Neuvians, Günter:* [Produktionsplanung] Dynamische Bestands- und Produktionsplanung bei einstufiger Fertigung. Berlin u. a. 1971.
- New, C. C.:* A Common Error in Production Scheduling. In: Operational Research Quarterly (25) 1974, S. 283–292.
- Niedereichholz, Christel:* Heuristische Verfahren der transportkostenminimalen Betriebsmittelzuordnung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (45) 1975, S. 725–742.
- Noltemeier, H.:* Produktionsablaufplanung – ausgewählte Probleme und Methoden. In: Informationssysteme im Produktionsbereich. Hrsg. von Hans-Robert Hansen. München, Wien 1975, S. 165–178.
- Nordsieck, Fritz:* [Rationalisierung] Rationalisierung der Betriebsorganisation. 2. Aufl. Stuttgart 1955.
- Nowak, Paul:* Betriebstyp und Kalkulationsverfahren. Wuppertal-Elberfeld 1936.
- Odiorne, George S.:* [Management] Management by Objectives. A System of Managerial Leadership. New York, Toronto, London 1966.
- Ohse, Hermann:* [Probleme] Wirtschaftliche Probleme industrieller Sortenfertigung. Forschungsbericht des Landes Nordrhein/Westfalen Nr. 1159. 2 Bände, Köln und Oppladen 1963.
- Opitz, H.:* [Grundideen] Die Grundideen der Teilefamilienfertigung. In: Industrielle Organisation (34) 1965, S. 270–281.
- [Teilefamilienfertigung] Teilefamilienfertigung. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (62) 1967, S. 101–111.
- Opitz, Herwart, Walter Eversheim und Klaus Brankamp:* Fertigungsorganisation. In: Handwörterbuch der Organisation. Hrsg. von Erwin Grochla. Stuttgart 1973, Sp. 521–535.
- Ordelheide, Dieter:* [Instandhaltungsplanung] Instandhaltungsplanung. Simulationsmodelle für Instandhaltungsentscheidungen. Wiesbaden 1973.
- Ott, Alfred E.:* [Technischer Fortschritt] Technischer Fortschritt. In: Handwörterbuch der Sozialwissenschaften. Hrsg. von Erwin v. Beckerath u. a. 10. Band. Tübingen, Göttingen 1959, S. 302–316.

- Ott, Alfred E.: [Preistheorie] Grundzüge der Preistheorie. Göttingen 1968.
- [Wirtschaftstheorie] Einführung in die dynamische Wirtschaftstheorie. 2. Aufl. Göttingen 1970.
- Pack, Ludwig: Die Bestimmung der optimalen Leistungsintensität. In: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft (119) 1963, S.1-57.
- [Elastizität] Die Elastizität der Kosten. Grundlagen einer entscheidungsorientierten Kostentheorie. Wiesbaden 1966.
- Die Ermittlung der kostenminimalen Anpassungsprozeßkombination. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (18) 1966, S. 466-476.
- Optimale Produktionsplanung als Entscheidungsproblem. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (40) 1970, S. 67-90.
- Paffenholz, Bernd: Quantitative Analyse arbeitsorganisatorischer Strukturen mit Hilfe eines neu entwickelten Klassifikationsmodells. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (69) 1974, S. 73-79.
- Pelz, Peter: [Vergleich] Ein Vergleich von präventiven Instandhaltungsstrategien. In: Operations Research und Datenverarbeitung bei der Instandhaltungsplanung. Hrsg. von Karl F. Bussmann und Peter Mertens. Stuttgart 1968, S. 51-63.
- Penzlin, K.: Humanisierung der Arbeit. In: Industrial Engineering (4) 1974, S. 367-369.
- Pfaffenberger, U.: [Maschinenumstellkosten] Produktionsplanung bei losreihenfolgeabhängigen Maschinenumstellkosten. In: Unternehmensforschung (4) 1960, S. 29-40.
- [Produktionsplanung] Probleme der Produktionsplanung bei Mehrprodukten-Mehrstufenfertigung. Diss. Tübingen 1963.
- [Verknüpfung] Über die Verknüpfung von Zuordnungen und Ablaufplanung bei der Produktionsplanung der Mehrprodukten-Mehrstufenfertigung. In: Theoretische und empirische Beiträge zur Wirtschaftsforschung. Hrsg. von Alfred Eugen Ott. Tübingen 1967, S. 281-289.
- Pfeiffer, W. und E. Staudt: [Arbeitsorganisation] Analyse der Konsequenzen für die Unternehmensplanung bei der Einführung neuer Formen der Arbeitsorganisation. Ergebnisse einer Experimentreihe in der elektrotechnischen Industrie. Arbeitspapier Nr. 45 des Betriebswirtschaftlichen Instituts der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg. Nürnberg 1976.
- [Konsequenzen] Ökonomische Konsequenzen der Humanisierung durch neue Formen der Arbeitsorganisation. In: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering (25) 1976, S. 137-139.
- Pfiffner, John M. und Rank P. Sherwood: [Organization] Administrative Organization. Englewood Cliffs/N. J. 1960.
- Pichler, Otto: [Anwendung] Anwendung der Matrizenrechnung auf betriebswirtschaftliche Aufgaben. In: Ingenieur-Archiv (21) 1953, S. 119-140.
- [Matrizenrechnung] Anwendung der Matrizenrechnung zur Erfassung von Betriebsabläufen. In: Ingenieur-Archiv (21) 1953, S. 157-175.
- [Kostenrechnung] Kostenrechnung und Matrizenkalkül. In: Ablauf- und Planungsforschung (2) 1961, S. 29-46.
- [Betriebskostenüberwachung] Anwendung der Matrizenrechnung bei der Betriebskostenüberwachung. In: Anwendungen der Matrizenrechnung auf wirtschaftliche und statistische Probleme. Von Adolf Adam u. a. Würzburg, Wien 1966, S. 74-111.
- Picot, Arnold: [Organisationsforschung] Experimentelle Organisationsforschung. Methodische und wissenschaftstheoretische Grundlagen. Wiesbaden 1975.
- Piesch, Walter: Die Lösung einer Klasse von Produktionsglättungsmodellen. Tübingen 1968.

- Pilipp, Reinhold: [Produktionssysteme] Die Planung flexibler Produktionssysteme. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (68) 1973, S. 632–637.
- Plati, Heinz: [Input-Output-Analyse] Input-Output-Analyse. Meisenheim am Glan 1957.
- Pönnighaus, Siegfried: [Multiplikatoren] Betriebswirtschaftliche Multiplikatoren. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (19) 1967, S. 659–673.
- Poensgen, Otto H.: [Geschäftsbereichsorganisation] Geschäftsbereichsorganisation. Opladen 1973.
- Pohmer, Dieter und Marcell Schweitzer: [Macht] Macht und Mitbestimmung im ökonomischen Entscheidungsprozeß. Ein Beitrag zur Macht- und Mitbestimmungsdiskussion in der Wirtschaftswissenschaft. In: Unternehmungsführung. Festschrift für Erich Kosiol zu seinem 75. Geburtstag. Hrsg. von Jürgen Wild. Berlin 1974, S. 75–121.
- Popp, W.: Einführung in die Theorie der Lagerhaltung. Berlin, Heidelberg, New York 1968.
- Prabhakar, T.: A Production Scheduling Problem with Sequencing Considerations. In: Management Science (21) 1974/75, S. 34–42.
- Pressmar, Dieter B.: [Leistungsanalyse] Kosten- und Leistungsanalyse im Industriebetrieb. Wiesbaden 1971.
- [Modelle] Evolutiorische und stationäre Modelle mit variablen Zeitintervallen zur simultanen Produktions- und Ablaufplanung. In: Proceedings in Operations Research 3. Hrsg. von P. Gessner u. a. Würzburg, Wien 1974, S. 462–475.
- Stationäre Planung und Losgrößenanalyse. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (44) 1974, S. 729–748.
- [Einsatzmöglichkeiten] Einsatzmöglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung für die simultane Produktionsplanung. In: Informationssysteme im Produktionsbereich. Hrsg. von Hans-Robert Hansen. München, Wien 1975, S. 215–255.
- Pritsker, Alan B., Lawrence J. Watters und Philip M. Wolfe: A Multiproject Scheduling with Limited Resources: A Zero-One Programming Approach. In: Management Science (16) 1969/70, S. 93–108.
- Quick, Joseph H., James H. Duncan und James A. Malcolm jr.: [Work-Factor System] The Work-Factor System. In: Industrial Engineering Handbook. Hrsg. von H. B. Maynard. 2. Aufl. New York, Toronto, London 1963, Teil 5, S. 39–96.
- Radner, Roy: [Application] The Application of Linear Programming to Team Decision Problems. In: Management Science (5) 1958/59, S. 143–150.
- Ramser, Hans J.: Fremdbezug oder Eigenfertigung als intertemporales Entscheidungsproblem. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (45) 1975, S. 407–420.
- Rao, M. R.: Optimal Capacity Expansion with Inventory. In: Operations Research (24) 1976, S. 291–300.
- Reetz, Norbert: Produktionsfunktion und Produktionsperiode. Kritische Darstellung des Produktionsperioden-Modells Böhm-Bawerschen Typs und Vergleich mit der neoklassischen Produktionstheorie. Göttingen 1971.
- REFA: [Arbeitsstudium 1] Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 1. Grundlagen. München 1971.
- [Arbeitsstudium 2] Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 2. Datenermittlung. München 1971.
- [Arbeitsstudium 3] Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 3. Kostenrechnung, Arbeitsplatzgestaltung. München 1971.
- Rehhahn, H.: Ein simultanes Personalplanungsmodell. In: Fortschrittliche Betriebsführung (23) 1974, S. 95–101.

- Reichmann, Thomas:* [Anpassungsprozesse] Die betrieblichen Anpassungsprozesse im Lagerbereich. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (10) 1967, S. 762–774.
- [Abstimmung] Die Abstimmung von Produktion und Lager bei saisonalem Absatzverlauf. Ein Beitrag zur Verbindung von Produktions-, Investitions- und Lagerplanung. Köln und Opladen 1968.
- Reichwald, Ralf:* [Arbeit] Die menschliche Arbeit in der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie – eine methodologische Analyse – Diss. München 1973.
- Reichwald, Ralf und Christian Sievi:* [Produktionswirtschaft] Produktionswirtschaft. In: Industriebetriebslehre. Hrsg. von Edmund Heinen. 4. Aufl. Wiesbaden 1975, S. 281–418.
- Reisch, Peter:* [Job Enrichment] Job Enrichment. In: Handwörterbuch des Personalwesens. Hrsg. von Eduard Gaugler. Stuttgart 1975, Sp. 1083–1090.
- Richter, K.:* Deterministische dynamische Mehrproduktmodelle der Produktionsplanung und Lagerhaltung. In: Mathematische Operationsforschung und Statistik (6) 1975, S. 385–395.
- Riebel, Paul:* [Kuppelproduktion] Die Kuppelproduktion. Betriebs- und Marktprobleme. Köln und Opladen 1955.
- [Erzeugungsverfahren] Industrielle Erzeugungsverfahren in betriebswirtschaftlicher Sicht. Wiesbaden 1963.
- [Marktproduktion] Typen der Markt- und Kundenproduktion in produktions- und ab-satzwirtschaftlicher Sicht. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (17) 1965, S. 663–685.
- Zur Programmplanung bei Kuppelprodukten. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (23) 1971, S. 733–775.
- [Einzelkostenrechnung] Einzelkostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung. Grundfragen einer markt- und entscheidungsorientierten Unternehmerrechnung. Op-laden 1972.
- [Deckungsbeitrag] Deckungsbeitrag und Deckungsbeitragsrechnung. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Gochla und Waldemar Witt-mann. Stuttgart 1974, Sp. 1137–1155.
- Riester, W. F. und R. Schwinn:* [Projektplanungsmodelle] Projektplanungsmodelle. Würzburg, Wien 1970.
- Rinne, H.:* [Präventivstrategien] Untersuchungen über optimale Präventivstrategien in der Instandhaltung. In: Zeitschrift für Operations Research (17) 1973, S. B 13–B 24.
- Robens, Manfred:* [Arbeitsgruppen] Humanisierung der Arbeit durch selbststeuernde Arbeitsgruppen? In: Humanisierung der Arbeitswelt. Hrsg. von der Arbeitsgemeinschaft zur Förderung der Partnerschaft in der Wirtschaft, in Verbindung mit dem Bund Katholischer Unternehmer. Köln 1975, S. 251–259.
- Rohstein, Marvin:* Scheduling Manpower by Mathematical Programming. In: Industrial Engineering (4) 1972, Nr. 4, S. 29–33.
- Rosenberg, Otto:* [Investitionsplanung] Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Gesamtplanung. Köln u. a. 1975.
- Rowe, Alan J. und James R. Jackson:* [Problems] Research Problems in Production Rou-ting and Scheduling. In: The Journal of Industrial Engineering (7) 1956, S. 116–121.
- Rühl, G.:* [Arbeitsstrukturierung] Untersuchungen zur Arbeitsstrukturierung. In: Indus-trial Engineering (3) 1973, S. 147–197.
- Work Structuring. In: Industrial Engineering (6) 1974, Nr. 1, S. 32–37 und Nr. 2, S. 52–56.
- Russell, Bertrand:* [Macht] Macht. Zürich 1947.

- Sankaran, D.: Das Zuordnungsproblem in der Fertigungstechnik. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (69) 1974, S. 243–246.
- Schäfer, Erich: [Industriebetrieb 1] Der Industriebetrieb. Betriebswirtschaftslehre der Industrie auf typologischer Grundlage. Band 1. Köln und Opladen 1969.
- [Industriebetrieb 2] Der Industriebetrieb. Betriebswirtschaftslehre der Industrie auf typologischer Grundlage. Band 2. Opladen 1971.
- Schätzle, Gerhard: Technischer Fortschritt und Produktionsfunktion. In: Produktionstheorie und Produktionsplanung. Karl Hax zum 65. Geburtstag. Hrsg. von Adolf Moxter, Dieter Schneider und Waldemar Wittmann. Köln und Opladen 1966, S. 37–61.
- Scheer, August-Wilhelm: [Instandhaltungspolitik] Instandhaltungspolitik. Wiesbaden 1974.
- Schiemann, Bernd: [Grundkonzepte] Regelungstheoretische Grundkonzepte und ihre Anwendung zur Gestaltung von Produktions-Lagerhaltungs-Systemen. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (24) 1972, S. 434–455.
- Schild, A.: [Inventory] On Inventory, Production and Employment Scheduling. In: Management Science (5) 1958/59, S. 157–168.
- Schiller, Werner: [Technologie] Der Einfluß der Technologie auf die Organisation industrieller Unternehmen. Eine empirische Untersuchung. Bern und Stuttgart 1973.
- Schlachter, K.: [Vergleich] Vergleich von beobachteten und vorbestimmten Elementarzeiten manueller Willkürbewegungen bei Montagearbeiten. Berlin, Köln, Frankfurt/M. 1967.
- Schlüter, Hartmann: [Losgröße] Zum Problem der optimalen Losgröße. In: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung N. F. (6) 1954, S. 188–203.
- Schmalenbach, Eugen: [Selbstkostenrechnung] Selbstkostenrechnung. In: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung (13) 1919, S. 257–299 und 321–356.
- [Kostenrechnung] Kostenrechnung und Preispolitik. 8. Aufl. Köln, Opladen 1963.
- Schmidt, Ralf-Bodo: [Wirtschaftslehre] Wirtschaftslehre der Unternehmung. Grundlagen. Stuttgart 1969.
- Schmidt, Reinhart: [Kapazitätsplanung] Kapazitätsplanung in stochastischen Produktionssystemen. Meisenheim am Glan 1968.
- Schmidt, Wolfgang P.: Fertigungsplanung mit Graphen. Zur integrierten mittel- und kurzfristigen Fertigungsplanung mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen bei mehrstufiger Mehrproduktfertigung. Bern, Frankfurt/M. 1972.
- Schmidt-Stuhhoff, Ulrich: [Unternehmerziele] Unternehmerziele und unternehmerisches Zielsystem. Wiesbaden 1967.
- Schnabel, Bernd K.: Darstellung einer Methode zur Ermittlung des Einflusses der Ablauforganisation auf die Fertigungsdurchlaufzeit. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (69) 1974, S. 111–114.
- Schneeweiss, Ch.: [Filtertheorie] Anwendung der WIENERschen Filtertheorie auf Probleme der Produktion und Lagerhaltung. In: Unternehmensforschung (13) 1969, S. 227–246.
- [Anwendung] Anwendung der WIENERschen Filtertheorie auf diskontinuierliche Lagerhaltungs-Produktions-Modelle. In: Unternehmensforschung (14) 1970, S. 175–188.
- [Produktionspolitik] Berechnung der Produktionspolitik von Produktions-Lagerhaltungs-Modellen unter Verwendung der WIENERschen Filtertheorie. In: Unternehmensforschung (14) 1970, S. 109–124.
- [Lagerhaltungs-Produktions-Modelle] Lagerhaltungs-Produktions-Modelle mit deterministischer Nachfrage. In: Unternehmensforschung (15) 1971, S. 157–166.
- Schneider, Dieter: [Produktionstheorie] Produktionstheorie als Theorie der Produktions-

- planung. In: Liiketaloudellinen Aikakauskirja (The Journal of Business Economics) (13) 1964, S. 199–229.
- Schneider, Dieter: [Lernkurven] Die „Lernkurven“ und ihre Bedeutung für Produktionsplanung und Kostentheorie. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (17) 1965, S. 501–515.
- [Grundlagen] Grundlagen einer finanzwirtschaftlichen Theorie der Produktion. In: Produktionstheorie und Produktionsplanung. Karl Hax zum 65. Geburtstag. Hrsg. von Adolf Moxter, Dieter Schneider und Waldemar Wittmann. Köln und Opladen 1966, S. 337–382.
- [Investition] Investition und Finanzierung. Lehrbuch der Investitions-, Finanzierungs- und Ungewißheitstheorie. Köln und Opladen 1970.
- Schneider, Erich: Das Zeitmoment in der Theorie der Produktion. In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik (144) 1936, S. 129–151.
- [Rechnungswesen] Industrielles Rechnungswesen. 5. Aufl. Tübingen 1968.
- [Wirtschaftstheorie] Einführung in die Wirtschaftstheorie. II. Teil. Wirtschaftspläne und wirtschaftliches Gleichgewicht in der Verkehrswirtschaft. 13. Aufl. Tübingen 1972.
- Schneider, Robert: [Wirkungen] Wirkungen der Arbeitszeit auf Produktion, Ertrag und Kosten. Ein Beitrag zur Theorie der zeitlichen Anpassung. Stuttgart 1964.
- Schneider, Walter: [Planung] Betriebliche Planung mit dynamischen Systemfunktionen. Erfolgsrechnung, Finanzierung und Bilanz. Berlin 1975.
- Schneiderhan, Wolfgang: [Abstimmung] Zum Problem der zeitlichen Abstimmung von Produktions- und Absatzmengen in mehrstufigen Unternehmen bei gegebenen Kapazitäten. Diss. Saarbrücken 1971.
- Schreglmann, Werner: [Faktoren] Faktoren des Kapitalbedarfs. Diss. Erlangen-Nürnberg 1972.
- Schreiber, Rupert: [Erkenntniswert] Erkenntniswert betriebswirtschaftlicher Theorien. Wiesbaden 1960.
- Schröder, H. J.: [Projekt-Management] Projekt-Management. Eine Einführungskonzeption für außergewöhnliche Vorhaben. Wiesbaden 1970.
- Schüler, Wolfgang: Prozeß- und Verfahrensauswahl im einstufigen Einproduktunternehmen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (43) 1973, S. 435–458.
- [Anlageneinsatz] Kostenoptimaler Anlageneinsatz bei mehrstufiger Mehrproduktfertigung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (45) 1975, S. 393–406.
- Schuhmann, Werner: Integriertes Rechenmodell zur Planung und Analyse des Betriebserfolgs. In: Betriebswirtschaftliche Information, Entscheidung und Kontrolle. Festschrift für Hans Münnstermann. Hrsg. von Walther Busse von Colbe und Günter Sieben. Wiesbaden 1969, S. 31–70.
- Schumacher, Gerd: [Berücksichtigung] Zur Berücksichtigung des Lernprozesses bei der Ermittlung der optimalen Werkstattlosgröße. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (39) 1969, S. 391–400.
- Schumann, Jochen: [Input-Output-Analyse] Input-Output-Analyse. Berlin, Heidelberg, New York 1968.
- Schuster, Barbara: [Fertigung] Die Vorbereitung der Fertigung – eine theoretische Untersuchung ihrer Gestaltung auf der Basis des Lerngesetzes. Köln 1973.
- Schwab, John L.: [Methods-Time Measurement] Methods-Time Measurement. In: Industrial Engineering Handbook. Hrsg. von H. B. Maynard. 2. Aufl. New York, Toronto, London 1963, Teil 5, S. 13–38.
- Schwarz, Horst: [Grundfragen] Grundfragen der Abstimmung von Materialbeschaffung, Fertigung und Vertrieb als Probleme der laufenden Betriebspolitik in Industriebetrieben. Freiburg i. B. 1959.

- Schwarz, Horst und Mitarbeiter: [Betriebsorganisation] Betriebsorganisation als Führungsaufgabe. Organisation - Lehre und Praxis. 2. Aufl. München 1970.
- Schweim, Joachim: [Unternehmungsplanung] Integrierte Unternehmungsplanung. Bielefeld 1969.
- Schweitzer, Hildburg: [Liquidität] Liquidität und Gewinn im industriellen Unternehmungsprozeß. Berlin 1967.
- Schweitzer, Marcell: [Probleme] Probleme der Ablauforganisation in Unternehmungen. Berlin 1964.
- [Terminierung] Beitrag zur optimalen Terminierung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (36) 1966, S. 41–52.
- [Prozeßstrukturierung] Methodologische und entscheidungstheoretische Grundfragen der betriebswirtschaftlichen Prozeßstrukturierung. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (29) 1967, S. 279–296.
- [Arbeitsanalyse] Arbeitsanalyse. In: Handwörterbuch der Organisation. Hrsg. von Erwin Grochla. Stuttgart 1969, Sp. 89–97.
- [Arbeitssynthese] Arbeitssynthese, mathematische Methoden. In: Handwörterbuch der Organisation. Hrsg. von Erwin Grochla. Stuttgart 1969, Sp. 136–154.
- [Verbindung] Zur Verbindung von Produktions- und Organisationstheorie. In: Zeitschrift für Organisation (38) 1969, S. 24–29.
- [Kostenremanenz] Kostenremanenz. In: Handwörterbuch des Rechnungswesens. Hrsg. von Erich Kosiol. Stuttgart 1970, Sp. 967–974.
- Lineare Planungsmodelle. In: Handwörterbuch des Rechnungswesens. Hrsg. von Erich Kosiol. Stuttgart 1970, Sp. 1369–1391.
- [Organisationstheorie] Betrachtungsgegenstand und Erkenntnisziel von Organisationstheorie und Entscheidungstheorie. In: Neue Betriebswirtschaft (24) 1971, Nr. 8, S. 1–8.
- [Bilanz] Struktur und Funktion der Bilanz. Grundfragen der betriebswirtschaftlichen Bilanz in methodologischer und entscheidungstheoretischer Sicht. Berlin 1972.
- [Industriebetriebslehre] Einführung in die Industriebetriebslehre. Berlin, New York 1973.
- [Kooperationsformen] Kooperationsformen zwischen Organisationslehre und Organisationspraxis. In: Zeitschrift für Organisation (5) 1973, S. 249–259.
- [Ablauforganisation] Ablauforganisation. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1974, Sp. 1–8.
- [Kostentheorie] Zum gegenwärtigen Stand der linearen Produktions- und Kostentheorie. Arbeitsbericht Nr. 1 der Forschungsabteilung für Industriewirtschaft am Wirtschaftswissenschaftlichen Seminar der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. Tübingen 1976.
- Schweitzer, Marcell, Günter O. Hettich und Hans-Ulrich Küpper: [Kostenrechnung] Systeme der Kostenrechnung. München 1975.
- Schweitzer, Marcell und Hans-Ulrich Küpper: [Produktionstheorie] Produktions- und Kostentheorie der Unternehmung. Reinbek bei Hamburg 1974.
- Seelbach, H.: [Planungsmodelle] Planungsmodelle in der Investitionsrechnung. Würzburg, Wien 1967.
- [Programmplanung] Interdependente Programm- und Prozeßplanung. In: Zur Theorie des Absatzes. Erich Gutenberg zum 75. Geburtstag. Hrsg. von Helmut Koch. Wiesbaden 1973, S. 447–474.
- [Ablaufplanung] Ablaufplanung. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg. von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1974, Sp. 9–22.
- [Investitionsplanung] Investitionsplanung. Arbeitsbericht des Seminars für Allgemeine

- ne Betriebswirtschaftslehre und Verkehrsbetriebslehre der Universität Hamburg. Hamburg 1976.
- Seelbach, Horst* unter Mitarbeit von Hendrik *Fehr*, Jens *Hinrichsen*, Peer *Witten* und Horst-Günther *Zimmermann*: [Ablaufplanung] Ablaufplanung. Würzburg, Wien 1975.
- Segur, A. B.*: [Motion-Time-Analysis] Motion-Time-Analysis. In: Industrial Engineering Handbook. Hrsg. von H. B. Maynard. 2. Aufl. New York, Toronto, London 1963, Teil 5, S. 107-124.
- Seidel, Hellmut*: [Matrizenmodelle] Matrizenmodelle für die Planung der metallverarbeitenden Industrie. Köln und Opladen 1967.
- Shapley, L. S.*: [Games] Simple Games: Application to Organization Theory. The Rand Corporation, Santa Monica 1972.
- Shephard, Ronald W.*: Cost and Production Functions. Princeton 1953.
- The Notion of a Production Function. In: Unternehmensforschung (11) 1967, S. 209-232.
 - Theory of Cost and Production Functions. Princeton/N. J. 1970.
 - Indirect Production Functions. Meisenheim am Glan 1974.
- Shephard, Ronald W.* und Rolf *Färe*: A Dynamic Theory of Production Correspondences. ORC-Report, Nr. 75-13. Berkeley 1975.
- Shillinglaw, Gordon*: [Accounting] Cost Accounting. Analysis and Control. Revised Edition. Homewood/Ill. 1967.
- Shinoda, Yujiro*: [Monotonie] Auch Monotonie kann human sein. Gedanken zur Frage: Fließband ja oder nein? In: Industrielle Organisation (44) 1975, S. 469-470.
- Shubik, Martin*: [Incentives] Incentives, Decentralized Control, the Assignment of Joint Costs and Internal Pricing. In: Management Science (8) 1961/62, S. 325-343.
- Siegel, Theodor*: [Maschinenbelegungsplanung] Optimale Maschinenbelegungsplanung. Zweckmäßigkeit der Zielkriterien und Verfahren zur Lösung des Reihenfolgeproblems. Berlin 1974.
- Zur Produktionsoptimierung bei variabler Intensität. In: WiSt-Wirtschaftswissenschaftliches Studium (4) 1975, S. 387-391.
- Sievi, Christian*: [Produktionstheorie] Produktionstheorie unter Berücksichtigung einer hierarchischen Produktionsorganisation – axiomatische Grundlagen und Modellanwendungen –. Diss. München 1976.
- Sisson, Roger L.*: [Sequencing] Methods of Sequencing in Job Shops – A Review. In: Operations Research (7) 1959, S. 10-29.
- [Sequencing Theory] Sequencing Theory. In: Progress in Operations Research. Hrsg. von R. L. Ackoff. Bd. I. New York, London 1961, S. 293-326.
- Smith, M. L., S. S. Pamvalkar* und R. A. *Dudek*: Flowshop Sequencing Problem with Ordered Processing Time Matrices. In: Management Science (21) 1974/75, S. 544-549.
- Smith, Richard D.* und Richard A. *Dudek*: A General Algorithm for Scheduling of the n-Job, M-Machine Sequencing Problem of the Flow Shop. In: Operations Research (15) 1967, S. 71-82.
- Solomons, D.*: [Performance] Divisional Performance. Measurement and Control. Homewood/Ill. 1965.
- Sommer, Klaus*: [Bedeutung] Die Bedeutung interpersonaler Beziehungen für die Organisation der Unternehmung. Berlin 1968.
- Stähly, Paul*: [Fabrikationsplanung] Kurzfristige Fabrikationsplanung in der industriellen Werkstattfertigung. Würzburg, Wien 1964.
- Stahlknecht, P.*: [Betriebsmatrizen] Optimale Betriebsmatrizen. In: Unternehmensforschung (3) 1959, S. 17-29.

- Starr, Martin Kenneth:* Production Management. Systems and Synthesis. Englewood Cliffs/N. J. 1964.
- Stefanic-Allmayer, Karl:* [Organisationslehre] Allgemeine Organisationslehre. Wien, Stuttgart 1950.
- Steffen, M. und V. Steinecke:* [Einflußgrößenrechnung] Einflußgrößenrechnung zur Kostenplanung eines Feinstahlwalzwerkes mit Matrizen. In: Stahl und Eisen (82) 1962, S. 155–165.
- Steffen, Reiner:* [Erfassung] Die Erfassung von Arbeitseinsätzen in der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (24) 1972, S. 804–821.
- [Elementarfaktoren] Analyse industrieller Elementarfaktoren in produktionstheoretischer Sicht. Grundlagen für den Aufbau kurzfristiger Planungsmodelle. Berlin 1973.
- [Taktzeit]. Die Bestimmung von Taktzeit und Stationenzahl bei Fließbandfertigung unter Berücksichtigung von Lernprozessen. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (25) 1973, S. 99–112.
- [Fließbandfertigung] Produktionsplanung bei Fließbandfertigung. Wiesbaden 1977.
- Steffens, Franz:* Das statische offene Input-Output-System. In: WISU – Das Wirtschaftsstudium (4) 1975, S. 159–163 und 232–235.
- Steffens, F.:* Input-Output-Systeme mit intervallweise definierten Inputfunktionen. In: Informationssysteme im Produktionsbereich. Hrsg. von Hans-Robert Hansen. München, Wien 1975, S. 179–214.
- Stegemann, Gerhard:* [Methoden] Statistische Methoden zur Messung des Arbeitsplatzwechsels. In: Allgemeines statistisches Archiv (47) 1963, S. 10–23.
- [Arbeitsplatzwechsel] Die statistische Erfassung und die betriebswirtschaftliche Bedeutung des Arbeitsplatzwechsels. Berlin 1968.
- Stegmüller, Wolfgang:* [Wahrheitsproblem] Das Wahrheitsproblem und die Idee der Semantik. Wien 1957.
- Stein, Claus:* Zur Berücksichtigung des Zeitaspekts in der Betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie. Diss. München 1965.
- Steiner, George A. und William G. Ryan:* [Management] Industrial Project Management. New York 1968.
- Steinmann, Horst:* [Großunternehmen] Das Großunternehmen im Interessenkonflikt. Stuttgart 1969.
- Stöppler, Siegmar:* [Produktionstheorie] Dynamische Produktionstheorie. Opladen 1975.
- Stommel, H. J.:* Ein dynamisches Verfahren zur gekoppelten lang- und mittelfristigen Termin- und Kapazitätsplanung des gesamten Auftragsablaufs in der Einzel- und Kleinserienfertigung. In: Ablauf- und Planungsforschung (9) 1968, S. 23–41.
- Streim, H.:* [Lösungsverfahren] Heuristische Lösungsverfahren. Versuch einer Begriffsklärung. In: Zeitschrift für Operations Research (19) 1975, S. 143–162.
- Strobel, Arno:* [Liquidität] Die Liquidität. Methoden ihrer Berechnung. 2. Aufl. Stuttgart 1953.
- Strobel, Wilhelm:* Simultane Losgrößenbestimmung bei stationären Modellen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (34) 1964, S. 241–267.
- Sussmann, Bernard G.:* Scheduling Problems with Interval Disjunctions. In: Zeitschrift für Operations Research (16) 1972, S. 165–178.
- Swoboda, Peter:* [Anpassung] Die betriebliche Anpassung als Problem des betrieblichen Rechnungswesens. Wiesbaden 1964.
- [Planung] Die simultane Planung von Rationalisierungs- und Erweiterungsinvestitionen und von Produktionsprogrammen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (35) 1965, S. 148–163.

- Szendrovits, Andrew Z.: Manufacturing Cycle Time Determination for a Multi-Stage Economic Production Quantity Model. In: Management Science (22) 1975/76, S. 298–308.
- Szwarc, Włodzimierz: [Sequencing Problems] On Some Sequencing Problems. In: Naval Research Logistics Quarterly (15) 1968, S. 127–155.
- [Aspects] Mathematical Aspects of the 3xn Job-Shop Sequencing Problem. In: Naval Research Logistics Quarterly (21) 1974, S. 145–153.
- Szyperski, Norbert: [Büroarbeit] Analyse der Merkmale und Formen der Büroarbeit. In: Bürowirtschaftliche Forschung. Hrsg. von Erich Kosiol. Berlin 1961, S. 75–132.
- Tintner, G.: A Contribution to the Nonstatic Theory of Production. In: Studies in Mathematical Economics and Econometrics. Hrsg. von O. Lange u. a. Chicago 1942, S. 92–109.
- The Theory of Production under Nonstatic Conditions. In: The Journal of Political Economy (50) 1942, S. 645–667.
- Todt, H.: [Fertigung] Operations Research in der Fertigung. In: Industrial Engineering (3) 1973, S. 415–421.
- Tonge, Fred M.: [Balancing] Assembly Line Balancing Using Probabilistic Combinations of Heuristics. In: Management Science (11) 1964/65, S. 727–735.
- Ulich, Eberhard: [Aufgabenerweiterung] Aufgabenerweiterung und autonome Arbeitsgruppen. In: Industrielle Organisation (42) 1973, S. 355–358.
- Ulich, E.: [Arbeitsstrukturierung] Neue Formen der Arbeitsstrukturierung. In: Fortschrittliche Betriebsführung (23) 1974, S. 187–196.
- Ulich, Eberhard, Peter Groskurth und Agnes Bruggemann: [Arbeitsgestaltung] Neue Formen der Arbeitsgestaltung. Möglichkeiten und Probleme einer Verbesserung der Qualität des Arbeitslebens. Frankfurt/M. 1973.
- Ulrich, Hans: [Organisationslehre] Betriebswirtschaftliche Organisationslehre. Bern 1949.
- [Unternehmung] Die Unternehmung als produktives soziales System. Bern, Stuttgart 1968.
- Ulrich, Peter: Ein verhaltenswissenschaftlicher Ansatz zur Theorie der Prozeß-Organisation. In: Die Unternehmung (28) 1974, S. 147–168.
- Vazsonyi, Andrew: [Lot-Size] Economic-Lot-Size Formulas in Manufacturing. In: Operations Research (5) 1957, S. 28–44.
- [Planungsrechnung] Die Planungsrechnung in Wirtschaft und Industrie. Wien und München 1962.
- Vischer, Peter: [Produktionsplanung] Simultane Produktions- und Absatzplanung. Rechnungstechnische und organisatorische Probleme mathematischer Programmierungsmodelle. Wiesbaden 1967.
- Vogel, Friedrich: [Matrizenrechnung] Matrizenrechnung in der Betriebswirtschaft. Opladen 1970.
- Vogel, Fritz: Grundlagen und Funktionsweise eines Modells der betrieblichen Produktions- und Kostenstruktur. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (38) 1968. Ergänzungsheft I, S. 1–31.
- [Strukturbilanzen] Betriebliche Strukturbilanzen und Strukturanalysen. Würzburg und Wien 1969.
- Wächter, Hartmut: Grundlagen der langfristigen Personalplanung. Ein sozio-technischer Ansatz. Herne, Berlin 1974.
- Waffenschmidt, Walter G.: [Technik] Technik und Wirtschaft der Gegenwart. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1952.
- Wagner, Helmut: Die Bestimmungsfaktoren der menschlichen Arbeitsleistung im Betrieb. Wiesbaden 1966.

- Wagner, H. M.: [Machine Scheduling] An Integer Linear Programming Model for Machine Scheduling. In: *Naval Research Logistics Quarterly* (6) 1959, S. 131–140.
- Walton, Richard E. und Robert B. McKersie: [Labor Negotiations] A Behavioral Theory of Labor Negotiations. An Analysis of a Social Interaction System. New York und London 1965.
- Wartmann, R.: [Entwicklung] Entwicklung, Aufbau und Rechengänge eines mathematischen Hochofenmodells. In: *Archiv für das Eisenhüttenwesen* (34) 1963, S. 879–885; (35) 1964, S. 15–20, 159–167, 173–181, 373–380, 911–954; (36) 1965, S. 609–610.
- [Erfassung] Rechnerische Erfassung der Vorgänge im Hochofen zur Planung und Steuerung der Betriebsweise sowie der Erzauswahl. In: *Stahl und Eisen* (83) 1963, S. 1414–1425.
- Wartmann, R., H.-J. Kopineck und W. Hanisch: Funktionales Arbeiten in Kostenrechnung und Planung mit Hilfe von Matrizen. In: *Archiv für das Eisenhüttenwesen* (31) 1960, S. 441–450.
- Weber, Gerd: Untersuchungen zur Ablaufplanung bei der Einzel- und Kleinserienfertigung. Diss. Aachen 1965.
- Weber, Wesley L.: Manpower Planning in Hierarchical Organizations: A Computer Simulation Approach. In: *Management Science* (18) 1971/72, S. 119–144.
- Wedekind, Hartmut: [Fließbandproblem] Linearer Programmansatz für das Fließbandproblem. In: *Ablauf- und Planungsforschung* (4) 1963, S. 245–248.
- Weinberg, F.: Termingrobplanung. Zürich 1954.
- White, Harrison und Lee S. Christie: [Queuing] Queuing with Preemptive Priorities or with Breakdown. In: *Operations Research* (6) 1958, S. 79–95.
- Wieck, Wilfried: [Organisationslehre] Ein Beitrag zur Problematisierung der terminologischen Struktur der Organisationslehre. Diss. Berlin 1971.
- Wiggert, Helmut: [Programmoptimierung] Programmoptimierung im Maschinenbau mit Hilfe der linearen Planungsrechnung. Berlin, Köln, Frankfurt/M. 1972.
- Wild, Jürgen: [Grundlagen] Grundlagen und Probleme der betriebswirtschaftlichen Organisationslehre. Entwurf eines Wissenschaftsprogramms. Berlin 1966.
- [Prozeßanalyse] Input-, Output- und Prozeßanalyse von Informationssystemen. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* (22) 1970, S. 50–72.
- [Product Management] Product Management. Ziele, Kompetenzen und Arbeitstechniken des Produktmanagers. München 1972.
- [Unternehmungsplanung] Grundlagen der Unternehmungsplanung. Reinbek bei Hamburg 1974.
- Witte, Eberhard: [Liquiditätspolitik] Die Liquiditätspolitik der Unternehmung. Tübingen 1963.
- [Entscheidung] Analyse der Entscheidung. Organisatorische Probleme eines geistigen Prozesses. In: *Organisation und Rechnungswesen. Festschrift für Erich Kosiol*. Hrsg. von Erwin Grochla. Berlin 1964, S. 101–124.
- [Entscheidungsverläufe] Die Organisation komplexer Entscheidungsverläufe – ein Forschungsbericht. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* (20) 1968, S. 581–599.
- [Phasen-Theorem] Phasen-Theorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* (20) 1968, S. 625–647.
- [Ablauforganisation] Ablauforganisation. In: *Handwörterbuch der Organisation*. Hrsg. von Erwin Grochla. Stuttgart 1969, Sp. 20–30.
- Wittenbrink, Hartwig: [Modell] Ein betriebswirtschaftliches Modell zur kurzfristigen Planung, Dokumentation und Kontrolle eines Feinstahlwalzwerkes. Diss. Bochum 1972.

- Wittmann, Waldemar:* [Unternehmung] Unternehmung und unvollkommene Information. Köln und Opladen 1959.
- Lineare Programmierung und traditionelle Produktionstheorie. In: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung N. F. (12) 1960, S. 1–17.
- [Produktionstheorie] Produktionstheorie. Berlin, Heidelberg, New York 1968.
- Woitschach, Max:* Zusammenhänge zwischen Kapazitätsauslastung und Fertigungsdurchlaufzeit. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (69) 1974, S. 549–550.
- Woodward, Joan:* [Organization] Industrial Organization. Theory and Practice. Oxford 1965.
- Wurtele, Zivia S.:* [Note] A Note on Some Stability Properties in Leontief's Dynamic Models. In: Econometrica (27) 1959, S. 672–675.
- Zäpfel, G.:* Dynamische deterministische Losgrößenmodelle – Lösungsmöglichkeiten mittels der dynamischen Optimierung. In: Industrial Engineering (4) 1974, S. 203–219.
- Zierul, Harald:* [Arbeit] Die menschliche Arbeit in einer dynamischen Produktionstheorie – Ansätze zur Einbeziehung individueller Lernvorgänge in eine betriebswirtschaftliche Produktionsfunktion. Köln 1974.
- Zimmermann, Hans-Jürgen und Michael G. Sovereign:* [Models] Quantitative Models for Production Management. Englewood Cliffs/N. J. 1974.
- Zimmermann, Werner:* [Verfahren] Modellanalytische Verfahren zur Bestimmung optimaler Fertigungsprogramme. Berlin 1966.
- Zimmermann, W. und D. Pfaffensteller:* [Ablaufplanung] Simultane Mengen- und Ablaufplanung industrieller Fertigungsprogramme. In: Ablauf- und Planungsforschung (8) 1966, S. 259–268.
- Zschocke, Dietrich:* Betriebsmatrizen. In: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 4. Aufl. Hrsg von Erwin Grochla und Waldemar Wittmann. Stuttgart 1974, Sp. 599–615.
- [Betriebsökonometrie] Betriebsökonometrie. Stochastische und technologische Aspekte bei der Bildung von Produktionsmodellen und Produktionsstrukturen. Würzburg, Wien 1974.
- Zurmühl, Rudolf:* [Matrizen] Matrizen und ihre technischen Anwendungen. 3. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1961.

Personenverzeichnis

- Acker, H. B. 28
Ackoff, R. L. 27
Adam, A. 35
Adam, D. 33, 58, 79, 83 f., 119, 145, 149 f., 152 f., 155, 161, 164 f., 167, 182 f., 185 ff., 197, 204 f., 207, 210, 212, 226, 229
Albach, H. 17, 27, 33, 69, 102, 160, 268
Albert, H. 19, 27
Anderegg, J. 218
Argyris, Ch. 32
Arnold, H. 189 f.
Arthanari, T. S. 128
Ashour, S. 33, 57, 124, 130 f.
Auer, B. H. 82
Avi-Itzhak, B. 227
Ayres, F. 73, 282
- B**achrach, P. 27
Baetge, J. 33, 78, 275 f.
Baker, C. T. 227
Baker, K. R. 33
Baratz, M. S. 27
Barnard, Ch. J. 32, 43
Baur, W. 78, 257 f.
Bavelas, A. 32
Bellmann, R. E. 128
Berg, C. 237
Berger, K. H. 17, 49
Berle, A. A. 27
Berthel, J. 25 ff.
Beste, Th. 49, 51
Bidlingmaier, J. 40 f.
Bihl, G. 237 ff.
Birnie, D. P. 194
Blake, R. R. 32
Blau, P. M. 33
Bleicher, K. 29, 278 f.
Bloech, J. 274
Blumentrath, U. 273
Böhrs, H. 28
Bössmann, E. 27
- Bohr, K. 19
Bowmann, E. H. 112, 119, 143, 194
Brachvogel, U. 194
Brink, H. J. 169 f.
Bronner, R. 23
Bruggemann, A. 56, 237 ff.
Bruhn, E. E. 47, 78
Bühner, R. 32
Bürk, G. 240
Bush, R. R. 78
Bussmann, K. F. 190, 195, 240
Butterworth, J. E. 60
Byrd, J. 227
- Carnap, R. 23
Cartwright, D. 26 ff.
Cherry, C. 27
Child, J. 33
Chmielewicz, K. 20, 27, 43, 47, 60, 90, 100, 115, 268
Christie, L. S. 227
Clark, J. M. 57, 185
Cobham, A. 227
Coenenberg, A. G. 25, 27, 78
Conway, R. W. 33, 55 ff., 121, 124, 208, 227
Cyert, R. M. 43
Czayka, L. 101
- Dahl, R. A. 27
Dale, E. 32
Dantzig, G. B. 97
Debreu, G. 73
Dellmann, K. 145, 161, 188, 197, 204, 243, 251
Dienstdorf, B. 227
Dietrich, G. 72
Dinkelbach, W. 82, 84, 99, 119, 132, 145, 149 f., 153, 158, 186, 188, 274, 276
Doering, K. 197
Dörken, W. 238
Domsch, M. 242, 247, 257 f., 278 f.

- Dorfman, R. 59
 Dorloff, F. D. 273
 Drumm, H. J. 27, 33, 58, 279
 Dürr, K. 83
 Duncan, J. H. 169
 Dzielinski, B. P. 227
- Ebert, R. J.** 227
 Edin, R. 17, 83, 100
 Egger, A. 167, 207
 Eichhorn, W. 49, 178
 Ellinger, Th. 33, 55
 Elsner, K. 82
 Emery, F. E. 237
 Etzioni, A. 27
 Eversheim, W. 232 f.
- Fabry, P. 169 f.
 Faddejew, D. K. 73
 Faddejewa, W. W. 73
 Fäßler, K. 28
 Fehlbaum, R. 23
 Fehr, E. 57
 Fehr, H. 33, 55, 57, 121 ff., 130, 133, 137,
 143, 163, 208, 218, 227, 275
 Feltham, G. A. 60
 Fiedler, E. E. 32
 Fleischmann, B. 143
 Flik, H. 33
 Förstner, K. 34, 244
 Fontana, R. J. 78
 Forker, H. J. 41
 Franke, G. 242 f., 251, 260, 278, 280
 Franke, R. 34, 58, 66 f.
 French, J. R. P. 27
 Frese, E. 78
 Frisch, R. 60, 65, 77
 Fuchs, H. 33
- Gäfgen, G.** 43
 Gälweiler, A. 35
 Gal, Th. 274
 Gaugler, E. 47, 247, 278
 Gaver, D. P. 227
 Gerard, E. 27
 Gere, W. S. 57, 227
 Gomory, R. E. 143
 Graicunas, V. A. 279
 Griem, H. 43
- Grochla, E. 19, 23, 25 ff., 29, 32 f., 47 f., 53
 Groskurth, P. 56, 237 ff.
 Große-Oetringhaus, W. F. 43, 45 f., 48 ff.,
 105, 107, 116 ff., 189 ff., 216, 218, 226 ff.,
 232 f.
 Grün, O. 33
 Günther, H. 55, 57
 Günther, R. 208, 216 ff.
 Guetzkow, H. 27
 Gupta, J. N. D. 57
 Gutenberg, E. 19, 21, 33 f., 41, 45 ff., 49 f.,
 52, 56 ff., 65 f., 68 f., 130, 172, 179, 181,
 216, 218, 221, 268
- Hackstein, R.** 102, 227, 251, 263, 273
 Hahn, D. 49, 237
 Hahn, R. 33, 56, 191, 194 f., 215
 Hammann, P. 278
 Hanssmann, F. 278
 Harsanyi, J. 27
 Hasenack, W. 49
 Hauk, W. 227
 Hax, H. 33, 58, 24, 259, 268, 272
 Haynes, R. P. 227
 Heber, A. 45, 189 f.
 Heinen, E. 17, 19 f., 23, 28, 33 ff., 40, 43 f.,
 46, 52, 56, 58, 66, 68 f., 164 f., 181
 Held, M. 194
 Helgeson, W. P. 194
 Heller, J. 208
 Henn, R. 34, 244
 Hennig, K. W. 28, 32
 Hentze, F. 247
 Henzel, F. 43, 47
 Herriger, H. 194
 Hershauer, J. C. 227
 Herstein, I. N. 73
 Herzberg, F. 32
 Heß-Kinzer, D. 197
 Hettich, G. O. 56, 58, 66, 185
 Hill, W. 23
 Hillier, F. S. 57
 Hinrichsen, J. 33, 55, 57, 121 ff., 130, 133,
 137, 143, 163, 208, 218, 227, 275
 Hirsch, W. Z. 79
 Hoffmann, F. 32
 Hoffmann, T. R. 194
 Hofstätter, P. R. 26
 Hoitsch, H. J. 201

- Hollander, E. P. 26
 Holloway, C. A. 227
 Holm, K. 27
 Holt, Ch. C. 247
 Horngren, Ch. T. 185
 Hoschka, P. 268
 Hoss, K. 33, 55 ff., 121 f., 124, 130, 143,
 227
 Hu, T. Ch. 247
IBM 143
 Ihde, G. B. 78
 Jackson, J. R. 227
 Jacob, H. 21, 69, 77, 102, 160, 164 f., 183,
 229, 241, 244 f., 259 ff., 264
 Jäger, O. 169
 Jaksch, H. J. 59 f., 80
 Jarr, K. 241 f., 245 f.
 Johnson, S. M. 128, 131, 208, 227
 Joksch, H. C. 149
 Jones, E. 27
Kahn, R. L. 33
 Kalveram, W. 45, 190
 Kappler, E. 78
 Karp, R. M. 194
 Karrenberg, R. 161
 Kast, F. E. 33
 Katz, D. 33
 Keachie, E. C. 78
 Kern, W. 19, 33, 57, 121, 190, 274
 Kieser, A. 33, 279
 Kilger, W. 19, 33, 57 f., 68 f., 102, 118, 170,
 172 f., 185, 268
 Kirsch, W. 23, 27, 32
 Kleinsang, M. H. 102, 251, 263
 Klein, M. 194
 Klingen, B. 273
 Klis, M. 32
 Kloock, J. 21, 34 f., 38, 58 ff., 67 f., 72 f.,
 164 f.
 Knödel, W. 108
 Knop, W. 67
 Kockelkorn, G. 17, 83, 100
 Kölbel, H. 189, 216
 König, D. 108
 Komar, C. A. 227
 Kosiol, E. 19 f., 23, 25 ff., 32, 36 f., 40 f., 43,
 45, 47 ff., 53, 56, 58, 278
 Kossbiel, H. 240 ff., 245, 278
 Kosholt, R. 194
 Kramer, R. 23, 25
 Krelle, W. 59, 65, 79
 Kress, H. 240
 Krieg, W. 239
 Krippendorf, H. 82
 Krüger, W. 27
 Kruschwitz, L. 19
 Kubicek, H. 33
 Küching, K. F. 246 ff.
 Küpper, H.-U. 19, 21 f., 27 f., 32, 34 f., 38,
 40, 44, 56, 58 f., 62, 65 f., 69, 151, 172,
 181, 185, 282
 Kuhn, M. 240
 Kupsch, P. U. 237
Lange, O. 59
 Langen, H. 17, 25, 29, 56, 76, 80, 83, 88,
 100, 109
 Lanzenauer, Ch. H. v. 145, 149
 Laßmann, G. 19, 21 f., 27, 34, 58, 66 f.
 Lattmann, Ch. 237 ff.
 Lauenstein, G. 67
 Lawrence, P. R. 33
 Leavitt, H. J. 27, 32
 Lehmann, H. 29
 Leontief, W. W. 58 f., 80
 Likert, R. 32
 Link, J. 237
 Lorsch, J. W. 33
 Luce, R. D. 33
 Lücke, W. 19, 33 f., 181
 Luhmer, A. 21 f., 34, 78, 80
Mag, W. 27
 Malcolm, J. A. 169
 Manne, A. S. 122 f., 139 f., 143
 Mansoor, E. M. 194
 March, J. G. 32, 43
 Marschak, J. 33
 Maslow, A. H. 32
 Matthes, W. 17, 26
 Mausner, B. 32
 Maxwell, W. L. 33, 55 ff., 121, 124, 208,
 227
 Mazurczak, B. 237
 McGregor, D. 32
 McGuire, C. B. 33

- McKersic, R. B. 28
 McKinsey & Co. 33
 Meffert, H. 23, 32
 Meier, D. 100
 Mellerowicz, K. 49, 189 ff., 194, 205, 208,
 216 ff., 226
 Menrad, S. 20, 56, 58
 Mensch, G. 33, 55 ff., 122, 143, 247 f.
 Mertens, P. 240
 Meyhak, H. 244, 273
 Miller, L. W. 33, 55 ff., 121, 124, 208, 227
 Mirow, H. M. 33
 Mitten, L. G. 128, 208
 Modigliani, F. 247
 Moodie, C. L. 194
 Morgenstern, O. 33
 Mosteller, F. 78
 Mouton, J. S. 32
 Müller, E. 227
 Müller, J. H. 65
 Müller-Hagedorn, L. 241 f., 245 ff., 257,
 260, 278
 Müller-Merbach, H. 33, 60, 73, 84, 100,
 108, 121, 123, 227, 278
 Mukhopadhyay, A. C. 128

 Naslin, P. 72
 Nastansky, L. 161, 251
 Nelson, R. T. 227
 Nemhauser, G. L. 247
 Neuberger, O. 56
 von Neumann, J. 33
 Neuvians, G. 188
 Nordsieck, F. 28, 32
 Nowak, P. 45, 189 f.
 Nuttle, H. L. W. 247

Odiorne, G. S. 32
 Ohse, H. 218, 232
 Opitz, H. 116 f., 190, 232
 Ordelheide, D. 78, 240
 Ott, A. E. 60, 65, 77, 79

Pack, L. 43, 47, 262
 Pfaffenberger, U. 208, 210
 Pfaffenzeller, D. 133, 135, 137
 Pfeiffer, W. 238 f.
 Pfiffner, J. M. 27
 Pichler, O. 67

 Picot, A. 24
 Pilipp, R. 232
 Platt, H. 59
 Pönninghaus, S. 100
 Poensgen, O. H. 33
 Pohmer, D. 27
 Prager, W. 247
 Pressmar, D. B. 19 ff., 33, 35, 78, 82, 84,
 104, 143, 145 f., 151, 153, 158 ff., 164 f.,
 185 ff., 189, 197, 229

Quick, J. H. 169

Radner, R. 33
 Raiffa, H. 33
 Raven, B. 27
 REFA, 36 f., 47 ff., 56, 146, 169, 170 f.,
 190 f., 194, 196, 208
 Reichmann, Th. 187, 268
 Reichwald, R. 35, 190
 Reisch, P. 237
 Riebel, P. 43, 45 f., 50 ff., 60, 108, 184 f.,
 191
 Rinne, H. 240
 Robens, M. 238
 Roppert, J. 35
 Rosenberg, O. 247, 264, 268, 273
 Rosenzweig, J. E. 33
 Rowe, A. J. 227
 Rühl, G. 237 ff.
 Russel, B. 27
 Ryan, W. G. 32

Sankaran, D. 119
 Schäfer, E. 43, 45, 49 ff., 105, 117, 189 ff.,
 194, 208, 216 f., 226 f.
 Scheer, A. W. 78, 161, 240
 Schick, D. 273
 Schiemenz, B. 275
 Schild, A. 247
 Schiller, W. 33, 279
 Schlaich, K. 169
 Schlüter, H. 83
 Schmalenbach, E. 56, 58
 Schmidt, R. 21
 Schmidt, R. B. 40, 43
 Schmidt-Sudhoff, U. 40
 Schmitt, H. J. 17, 83, 100
 Schneeweiss, Ch. 275
 Schneider, D. 17, 21, 58, 78, 268

- Schneider, E. 47, 77
 Schneider, R. 268
 Schneider, W. 83
 Schneiderhan, W. 145, 187, 220
 Schoenherr, R. A. 33
 Schreglmann, W. 58, 63
 Schreiber, R. 23
 Schröder, H. J. 32
 Schüler, W. 229
 Schulze, J. 189, 216
 Schumacher, G. 182
 Schumann, J. 59, 71, 80
 Schuster, B. 78, 258
 Schwab, J. L. 169
 Schwarz, H. 28
 Schweim, J. 273
 Schweitzer, H. 56
 Schweitzer, M. 17, 19, 21 ff., 25 ff., 29 f.,
 32 ff., 40, 43, 49 f., 53, 55 f., 58 f., 62, 66,
 69, 115, 121, 123, 130, 151, 164 f., 172,
 181, 185, 190, 194, 218, 226, 275, 278,
 282
 Seelbach, H. 33, 55, 57, 121 ff., 130, 133,
 137, 143, 163, 208, 218, 227, 244, 268,
 275
 Segur, A. B. 169
 Seidel, H. 100, 247
 Shapley, L. S. 33
 Sharesian, R. 194
 Sherwood, R. P. 27
 Shillinglaw, G. 185
 Shinoda, Y. 238
 Shubik, M. 33
 Siegel, Th. 33, 55, 57, 121 f.
 Sievi, Ch. 190, 280
 Sigloch, B. A. 60
 Simon, H. A. 32, 247
 Sisson, R. L. 55, 112, 124, 130 f.
 Snyderman, B. 32
 Solomons, D. 32
 Sommer, Klaus 27
 Sovereign, M. G. 195
 Stähly, P. 51, 89, 102
 Stahl, H. 72
 Staudt, E. 239
 Steenken, H.-U. 275 f.
 Stefanic-Allmayer, K. 26
 Steffen, M. 66
 Steffen, R. 20 ff., 34 f., 58, 66 f., 78, 194 f.
 Stegemann, G. 241
 Stegmüller, W. 23
 Steinecke, V. 66
 Steiner, G. A. 32
 Steinmann, H. 27
 Stöppler, S. 9 f., 34, 79, 80
 Streim, H. 272
 Strobel, A. 56
 Swoboda, P. 69, 241, 244
 Szwarc, W. 128, 208
 Szyperski, N. 47
 Thorsrud, E. 237
 Todt, H. 205
 Tonge, F. M. 194
 Ulrich, E. 56, 237 ff.
 Ulrich, H. 23, 28, 32 f.
 Vazsonyi, A. 99, 195 f., 247, 258, 264
 Vogel, F. 73, 282
 Vogel, F. 58
 Waffenschmidt, W. G. 47
 Wagner, H. 122, 139
 Walton, R. E. 28
 Wartmann, R. 66
 Wedekind, H. 195
 Weinthal, F. 17, 83, 100
 White, H. 227
 Wieck, W. 25 f., 28 f.
 Wiggert, H. 152
 Wild, J. 23, 25 f., 28, 32, 36
 Witte, E. 30, 33, 43, 56
 Witten, P. 33, 55, 57, 121 ff., 130, 133, 137,
 143, 163, 208, 218, 227, 275
 Wittenbrink, H. 66
 Wittmann, W. 19 f., 25, 39, 65
 Woodward, J. 33, 279
 Wurtele, Z. S. 80
 Young, H. H. 194
 Zander, A. 26, 28
 Zierul, H. 34, 78, 182, 257, 268
 Zimmermann, H. 33, 55, 57, 121 ff., 130,
 133, 137, 143, 163, 208, 218, 227, 275
 Zimmermann, H. J. 195
 Zimmermann, W. 133, 135, 137
 Zschocke, D. 67
 Zurmühl, R. 71

Sachverzeichnis

- A**blauforganisation 28 f.
Ablaufplanung 55, 137
Abnutzung 78
Absatzmenge 141, 144 f., 177, 259 f., 266
Absatznebenbedingungen 185, 256
Absatzprogramm 44, 115, 271
Anforderungstyp 244 f.
Anlagen, maschinelle 46, 240, 243 ff., 248, 250 ff., 262, 265 f., 271, 274
Anlagenbestand 240, 242
Anlagenbestandsgleichung 245
Anlageneinsatz 261
Anlagenreparatur 268
Anlernprozeß s. Lernprozeß
Anpassungsfähigkeit 227
Anschaffungskosten 261
Anschaffungsperiode 244
Arbeit, maschinelle 167, 174
Arbeit, menschliche 167, 170, 174
Arbeitnehmerkündigungen 246
Arbeitsanalyse 36
Arbeitsbeziehungen 27, 54, 76, 104
Arbeitseinsatz 172, 180, 257, 260
Arbeitseinsatzmatrix 105 ff., 112 ff., 117 ff., 141, 156, 161 f., 206
Arbeitserweiterung 239
Arbeitsgang 36 f., 108, 111, 194, 197, 210
Arbeitskräfte 46, 241 ff., 245, 248, 250, 253, 262, 265 f., 274
Arbeitskräftebedarf 247
Arbeitskräftebestand 246
Arbeitskräfteeinsatz 264, 266, 271 f.
Arbeitsplatzsicherheit 269
Arbeitsstrukturierung 237
Arbeitsverteilung 53 f., 119, 142, 144, 160, 162, 167, 178, 180 ff., 184, 196, 198, 201, 205, 226 f., 232, 234, 238, 263 f., 266, 270, 273
Arbeitszeit 47
Arbeitszeitregelung 268
Arbeitszeitvorgabe 169
Arbeitszufriedenheit 239, 269
Aufbauorganisation 28 f.
Auflegungszahl 133 f., 137, 140, 148 f.
Aufstaulager 210 f.
Aufträge 122, 125, 133
Auftragszahl 138, 140, 144, s. a. Auflegungszahl
Ausbringungsmenge 141, 144 f.
Ausbringungsvektor 114
Ausgaben 58, 189, 259, 262
Auslastung 274
Aussagen, organisationstheoretische 40 f.
Aussagen, produktionstheoretische 41
Ausschuß 164 f., 167, 180, 182 f., 198, 201, 206, 216, 221, 238, 258, 263, 266
Ausstattung der Unternehmung 46, 54, 144, 180, 216, 245, 248, 263, 265 f.
Ausstattungsmodell 273 ff.
Ausstattungs-Periode 243
- B**andwirkungsgrad 56
Bedienungszeit 265
Belegungszeit 47, 56, 131, 137
Beschaffungsmenge 173, 175, 266
Beschaffungsprogramm 180
Betriebsstoff 68 f., 169, 172 ff., 186, 199 f., 203, 207, 223 f., 231, 255 f., 259 f., 262
Beziehungen, interpersonelle 277
Beziehungen, sozio-emotionale 27
- C**CES-Funktion 68
Chargengröße 52, 54, 183
Cobb-Douglas-Funktion 68
- D**Datenermittlung 267
Deckungsbeitrag 184, 187, 259
Deckungsbeitragsmaximierung 137, 143, 200
Definitionsbereich 38
Dezentralisierung 279

- Direktverbrauchsmatrix 62, 69, 73, 86, 97, 100, 155 f., 174, 176 f.
- Divergenz 109, 193, 196, 215 f., 226
- Durchlaufzeit 55, 134, 137, 197, 199, 203, 208, 210 ff., 217, 234, 262, 264, 272 ff.
- Durchsatzgrößen 67
- E**ignungsgrad 245
- Einflußgrößenrechnung 66
- Einnahmen 58, 189, 259, 262
- Einsatzfunktion 169, 251, 253, 257 f., 263
- Einsatzmenge 141, 144 f.
- Einsatzzeit 170 ff., 175, 200, 204, 224 f., 253 f.
- Einstellung 245 f., 260 ff., 271
- Einzelfertigung 116, 190 f., 193, 221
- Einzelprodukte 45 f., 191 f.
- Elastizität 226
- Elementarprozesse 34 f., 37
- Entlassung 245 f., 249, 260 ff., 271
- Entscheidungskompetenz 279 f.
- Entscheidungsregel 227, 280
- Ergebnismerkmale 44, 55
- Erholungszeit 171 f., 200, 225, 253 f., 265
- Erlös 185 ff., 259
- Fertigungskosten 137 f., 186, 260
- Fertigungslinie 194 ff., 205, 208, 214 ff., s. a. Fertigungsstraße
- Fertigungsprogramm 44, 116, 271
- Fertigungsprogrammtyp 118
- Fertigungssteuerung 217
- Fertigungsstraße 194, 201, 203 f., 232, 234, 236 f., s. a. Fertigungslinie
- Fertigungszeit 47, 133, 141, 144, 158 f., 172 ff., 224, 253 f., 266, 274
- Fertigungszeitvariable 158, 160 f., 163, 170, 172 ff., 179, 181, 183 f., 198, 202, 206
- Fließfertigung 49, 105 f., 128, 152, 190, 193 ff., 198, 200 ff., 204 f., 207 f., 210, 234 f., 237
- Fließinselfertigung 50, 106 f., 190, 192 f., 232 ff., 236 f.
- Fluktuationsrate 239
- Führungssystem 239
- Funktionen, ertragsgesetzliche 68
- G**angfolge 53 f., 77, 101, 119 f., 123 ff., 137, 140 ff., 144, 147 ff., 151, 180 f., 183 ff., 197, 204, 208, 226, 232, 238, 253, 263 f., 266, 270 f., 273
- Gesamtbelegungszeit 56
- Gesamtverbrauchsmatrix 62, 71 ff., 97
- Großserienfertigung 190 f., 193
- Großserienprodukt 192, 195, 201, 228
- Gruppen, selbststeuernde 238 f.
- Gruppierungsbeziehungen 26, 50 f., 54, 76
- Güterausbringung 280
- Gütereinsatz 167, 169, 174, 181 f., 184, 189, 195, 199, 280
- Güterflußmatrix 61, 63
- H**andelswaren 115
- Hauptnutzungszeit 171
- Haupttätigkeitszeit 170
- Herstellkosten 272 ff.
- Herstellungsmengen 163, 183, 198, 201, 235, s. a. Produktionsmengen
- Hilfsstoff 169
- I**ndividualvariable 248 ff.
- Input-Output-Ansatz, dynamischer s.
- Input-Output-Modell, dynamisches
- Input-Output-Ansatz, statischer s. Input-Output-Modell, statisches
- Input-Output-Beziehung 176, 179, 181, 183, 205, 222, 243, 280
- Input-Output-Modell, dynamisches 76, 80, 82, 84 f., 91, 98, 145, 151, 155, 157
- Input-Output-Modell, statisches 58 f., 61 f., 69, 79 f.
- Inputseite 175
- Instandhaltungsmaßnahme 268
- Intensität 52, 118 f., 167, 172, 178, 180 ff., 194, 198, 263, 273
- Interdependenzen 38, 42, 68, 71, 100, 137 f., 140, 145, 167, 176, 189, 212, 214 f., 226 f., 232, 240, 243, 262, 265, 268 ff., 272, 276, 278
- Intervall 146
- Intervalldauer 151, 153, 157, 159 ff., 167 f., 172, 197, 199, 203, 218 f., 225, 228, 232
- Intervalldauerbeschränkung 158, 162, 202
- Investition 240
- Investitionsmodell 244
- Investitions-Periode 244
- K**apazität 153, 155 ff., 264
- Kapazitätsauslastung 55 f., 210, 212, 264

- Kapazitätsbedingungen 159, 162 ff., 202
 Kapazitätsmatrix 156, 160
 Kapitalbindung 262, 274
 Kleinserienfertigung 190 f., 193, 221
 Kleinserienprodukt 192
 Kommunikationsbeziehung 278 f.
 Kompetenzverteilung 278
 Konvergenz 193, 196, 214 f., 229, 233
 Kosten- und Leistungsrechnung 184
 Kostentheorie 38
 Kostenverteilung 187
 Kündigung, freiwillige 245, 249, 260 ff.
 Kumulationslager 210
 Kuppelprodukt 59 f., 215
 Kuppelprozeß 51, 60 f., 72
- L**
 Lagerbestand 77, 82, 85, 90 f., 164, 175, 177, 180, 187 f., 197, 220, 222, 230, 235, 274
 Lagerkosten 137, 187, 260
 Lagermenge 141, 144 f., 173, 266 s. a.
 Lagerbestand
 Lagerzeit 124, 141, 272
 Lebensalter 245 f., 248 f., 261, 264
 Leerzeit 47, 56, 122, 124 f., 127, 129 f., 135, 137, 140 f., 144, 159, 210, 213, 215 ff., 263 ff., 274
 Leerzeitbedingungen 202
 Leerzeitvariable 154, 156, 158 f., 201 f., 221, 224
 Leistung 118, 184, 259
 Leistungsabstimmung 53, 183 f., 194, 197, 201 f., 204 f., 207, 210, 214 ff., 233
 Leistungsbestimmung 52, 118, 143 f., 180 f., 264, 266, 271
 Leistungsfähigkeit 104, 146, 180, 240, 263, 265 f.
 Leistungsrelationen 210, 212, 214
 Leitungsbeziehung 278
 Leitungsspanne 278
 Leontief-Funktion 65, 69, 72, 92, 151 f., 172 f.
- Lernkurve 257
 Lernprozeß 78, 164, 242, 257, 263, 265, 268, 271
 Liquidität 269
 Liquidationserlös 259
 Lösbarkeit, numerische 143 f., 268
 Lohnform 261
- Losgröße 52, 54, 77, 100, 116, 133 ff., 138, 142, 144, 147 ff., 180 ff., 197, 204, 208, 218, 221, 226, 238, 264, 266, 280 f., 273 f.
- M**
 Machtbeziehungen 27
 Marktproduktion 46
 Maschinenbelegungsbedingungen 148, 159, 161, 202
 Maschinenfolge 208, 227, 232
 Maschinenfolgebedingungen 140
 Massenfertigung 118, 190, 193, 233
 Massenprodukte 45, 191 f., 195
 Materialfluß 50, s. a. Objektfluß
 Materialkosten 186
 Mechanisierungsgrad 263, 265
 Mehrstufigkeit 77
 Mengengleichungen 59, 60
 Messung des Gütereinsatzes 21
- Nachfrage 185, 256
 Nachfrageänderung 79
 Nebennutzungszeit 171
 Nebentätigkeit 170
 Nutzungszeit 170, 172
- O**
 Objektfluß 114
 Operationenfolge 51, 54, 111, 124 f., 146, 155, 180, 189, 190, 205, 208, 210, 229 f., 232
 Optimierungsmodell 268, 272
 Opportunitätskosten 57 f.
 Organisation 23, 269, 276
 Organisationstheorie 23, 30 ff., 34, 38, 41 f., 277 ff.
 Organisationstyp 48, 54, 104 f., 141, 144, 156, 189 ff., 265, 278
 Outputseite 175
- Partialmodell 269, 272, 274 f.
 Personalbestand 242
 Personalbestandsgleichung 245, 247
 Personalkosten 260 f.
 Personalzuordnung 272
 Personalzuordnungsmodell 273 ff.
 Planrevision 222, 237
 Prioritätsregeln 227, 280
 Produkte 45, 259 f.
 Produktarten 271
 Produktgleichungen 147, 153 ff., 157, 161 f., 164 f., 167 f., 176, 198, 201, 206, 221 f., 230, 235

- Produktion, geschlossene 83, 183, 208
 Produktion, offene 83 f., 151 f., 160 f., 167, 198, 207 f., 233
 Produktionsablauf 121, 145, 147, 167, 280
 Produktionsbereitschaft 44, 54, 189, 196
 Produktionsfunktion 58 f., 62, 69, 76, 81, 89, 100, 169, 181
 Produktionsfunktion, dynamische 81 f., 86, 88, 90 f., 94, 98
 Produktionsgeschwindigkeit 52, 118 f., 157, 161 ff., 173, 176, 182 f., 205 f., 210 f., 214 ff., 221, 226, 258, 263
 Produktionsmengen 137, 140, 274, s. a.
 Herstellungsmengen
 Produktionsmengenmodell 81, 141 ff., 150, 167 f., 170, 175, 185, 195, 198, 206, 217 f., 231
 Produktionsmodell 243, 258 ff., 267
 Produktionsplanung 267
 Produktionsprogramm 44, 54, 115, 121, 141 f., 144 f., 180, 273, 279
 Produktionsprogrammtyp 114, 189 ff.
 Produktionsstruktur 62, 74
 Produktionstheorie 19, 30 ff., 34, 38, 41 f., 269, 276 ff.
 Produktionsvollzug 44, 54, 56, 122, 147, 181, 195, 253, 262, 279
 Produktionsvollzugsmodell 275
 Produktionszeitenmodell 81, 121 ff., 132 ff., 138 ff., 217
 Produktiveinheit 47, 54, 102 f., 119 f., 123 f., 146, 149, 155 f., 167, 169, 171, 174, 178, 180, 184, 227 f., 240 f., 243, 250, 262 ff., 273
 Produktverflechtungsmatrix 108 f., 111 f., 114, 116 ff., 155, 214
 Produktweitergabe 144, 220
 Produktziel 269
 Programmierungsmodell, parametrisches 275
 Programmplanung 137
 Prozeßdauer 181 f.
 Pufferlager 194

Qualifikation 248 ff., 258
 Qualifikationsgrad 245
 Qualifikationsgruppe 244 ff., 261, 264, 274
 Qualifikationsmerkmale der Arbeitskräfte 242
 Qualifikationstyp 273

Raumbeziehungen 26, 54, 76
 Regelungstheorie 275
 Reihenfolge 27, 53, 112, 184
 Reihenfolgebedingungen 140
 Reihenfolgebeziehungen 54
 Reihenfolgeproblem 157
 Reihenfolgevariable 123, 141
 Relationen, produktionstheoretische 39
 Revidierbarkeit 270 f.
 Rohstoff 169, 173 f., 186, 199, 203, 206, 223, 231, 255, 259 f., 262, 271
 Rohstoffeinsatzmatrix 108 f., 111, 116 f., 214
 Rückkopplungsprozeß 273
 Rüstanteilsmatrix 156
 Rüstkosten 137 f., 187
 Rüstzeit 47, 56, 132, 134, 138, 140, 157, 159 f., 162 f., 170, 172 f., 180, 183, 199, 201, 204, 206, 212, 224 f., 229, 231, 253 f., 258, 263, 265 f., 274

Sensitivitätsanalyse 273 ff.
 Serienprodukte 45 f., 117, 191, 198, 205, 208, 214
 Simulation 275
 Simulationsmodell 272
 Sortenfertigung 190 f., 193
 Sortenprodukte 45 f., 117, 192, 195, 198, 201, 205, 208, 214, 228
 Stationenzahl 199
 Stelle 48, 252
 Stellenbesetzung 253, 273
 Stellenbildung 251 ff., 263 f., 266, 271 f.
 Steuerungstheorie 275
 Stoffkosten 186, 260
 Strukturierungskonzeption 23 f.
 Strukturierungstatbestände 43
 Strukturmatrix 61 ff., 69, 73, 76, 101 ff., 108, 110, 155
 Stückprozeß 50, 54, 104, 106 ff., 122, 142, 151, 180, 190, 192, 206, 228

Tätigkeitszeit 225, 254
 Taktabstimmung 53
 Taktvorgabe 194
 Taktzeit 196, 198 f., 201, 204
 Technologie 279
 Teilefamilie 190, 232
 Teilelager 234 f.
 Termineinhaltung 55

- Transformationsfunktion, allgemein 61 f., 150 f.
- Transformationsfunktion, dynamische 82 f., 88 ff., 90, 92, 98, 152 f.
- Transformationsfunktion, statische 65 ff., 73, 84, 172
- Transport 219, 221, 226, 228, 230
- Transportprozeß 153, 183, 217 f., 220, 223 f., 229, 231, 234, 236
- Transportweg 217
- Umrüstung** 154 f., 187, 224, 265
- Umrüstbedingungen 159, 162, 202
- Umrüstvariable 149, 154, 156, 163 f., 174, 176, 199, 201 f., 206, 221, 231, 254
- Unternehmungserfolg 56, 269
- Verbrauchsfunktion** 68, 70, 172
- Verfügungsmacht 20
- Vergenz 105, 108, 155, 180, 214, 216
- Vergenztyp 50, 54, 110, 144, 189, 191 ff., 196
- Verhalten, menschliches 279 f.
- Verteilzeit 170, 172, 200, 225, 253 f., 265
- Vertriebskosten 186, 260
- Verweilzeit 83 ff., 90, 97 f., 100, 147, 152 ff., 178, 199, 220
- Vieldeutigkeit 184
- Wachstum** 269
- Wartezeit 122, 124 f., 129 ff., 135, 137 ff., 144, 183, 213 f., 217, 234, 263 f.
- Wegzeiten 251 f.
- Weitergabe der Produkte 142, 147, 207, 210, 228
- Werkstattfertigung 49, 106 f., 190, 192 f., 202, 216 f., 225 ff., 234 ff.
- Werkstattfließfertigung 106 f., 190, 193, 202, 227 f., 232
- Werkstoff 108, 182
- Werkstoffeinsatz 65
- Wertebereich 38
- Zahlungsfähigkeit** 56
- Zeitbeziehungen 27, 76
- Zerreißlager 210 f.
- Ziele, soziale 269
- Zielfunktion 143, 184, 187, 259
- Zielwirksamkeit 269
- Zinskosten 187 f.
- Zinskostensatz 260
- Zufriedenheit 56, 239, 280
- Zuordnungsvariablen 103, 147 ff., 154, 156, 179, 181, 199, 201 f., 206, 219, 221, 224, 229 f., 248, 250
- Zyklus 52, 54, 101
- Zyklusbedingungen 123, 140
- Zykluszeit 55, 131, 212 ff.

Betriebswirtschaftliche Forschungsergebnisse

Herausgegeben von Erich Kosiol

Seit Frühjahr 1969 sind erschienen:

40. **Die Steuerung dezentraler Kostenentscheidungen im Herstellungsbereich industrieller Unternehmungen.** Von D. Hamann. 171 S. 1969. Lw. DM 38,60
41. **Kybernetische Ansätze zur Organisation des Führungsprozesses der Unternehmung.** Von H. Flik. 152 S. mit 18 Abb. 1969. Lw. DM 42,60
42. **Organisationsprinzipien.** Von R. Beensen. 234 S. 1969. Lw. DM 48,60
43. **Elemente und Struktur determinanten des informatorischen Kommunikationssystems industrieller Unternehmungen.** Von H.-J. Drumm. 176 S. 1969. Lw. DM 39,60
44. **Information und Planung in industriellen Unternehmungen.** Von J. Berthel und D. Moews. 206 S. 1970. Lw. DM 44,60
45. **Unternehmensgröße, Wachstum und Reorganisation.** Von D. Schulz. 225 S. 1970. Lw. DM 44,60
46. **Unternehmungswachstum und Produktinnovation.** Von A. Kieser. 242 S. mit 34 Abb. und 33 Tab. 1970. Lw. DM 64,60
47. **Automation und Leistungsstruktur.** Von H. J. Drumm. 145 S. 1970. Lw. DM 36,60
48. **Zum Normenproblem in der Wirtschaftswissenschaft.** Von A. Ruffner. 175 S. 1970. Lw. DM 48,60
49. **Unternehmenswirtschaftliche Reservierung.** Von P. R. Wossidlo. 266 S. mit 11 Abb. und 10 Tab. 1970. Lw. DM 66,60
50. **Zur Anwendung mathematischer Programmierungsverfahren auf die Bestimmung wirtschaftlich optimaler Informationsvorgänge.** Von H. Krug. 122 S. 1970. Lw. DM 36,60
51. **Kommunikation und Kollegialorgane.** Von C. K. Kanellopoulos. 187 S. 1970. Lw. DM 44,80
52. **Probleme der simultanen Orientierung von Leistungsprozessen in Unternehmungen.** Von W. Matthes. 360 S. 1970. Lw. DM 88,60
53. **Modelle zur Bestimmung der Gewinnerwartung im Rahmen der Neuprodukt-Planung.** Von G. Kreußlein. 199 S. 1971. Lw. DM 59,60
54. **Simultane Produktions-Investitionsplanung mit Hilfe der Portfolio Selection.** Von L. Peters. 148 S. 1971. Lw. DM 48,—
55. **Zur Gliederung der betriebswirtschaftlichen Bilanz.** Von J. Fudickar. 203 S. 1971. Lw. DM 48,60
56. **Erfolgskonsolidierung in Konzernabschlüssen.** Von J. Weitkamp. 110 S. 1971. Lw. DM 33,60
57. **Struktur und Funktion der Bilanz.** Von M. Schweitzer. 250 S. 1972. Brosch. DM 28,—; Lw. DM 38,—
58. **Entscheidungsstrategien bei Produktverbundenheit.** Von F. J. Berners. 228 S. 1972. Lw. DM 68,60.
59. **Grundlagen, Probleme und Instrumente der Konflikt handhabung in der Unternehmung.** Von W. Krüger. 200 S. 1972. Lw. DM 49,60

60. **Beteiligungsentscheidungen.** Von H. Schierenbeck. 197 S. 1973. Lw. DM 54,60
61. **Managementkonzeption des Öffentlichen Verwaltungsbetriebes.** Von Ch. Reichard. 207 S. 1973. Lw. DM 56,60
62. **Bausteine der Betriebswirtschaftslehre.** Von E. Kosiol. 2 Bde. I: Methodologie, Grundlagen und Organisation. 592 S. 1973. Lw. DM 124,—; II: Rechnungswesen. S. 593 - 1323. 1973. Lw. DM 175,—
63. **Grundlagen einer Theorie der betrieblichen Mitbestimmung.** Von H.-U. Küpper. 281 S. 1974. Lw. DM 66,60.
64. **Bilanz und Bewertung.** Von F. Dinkel. 234 S. 1974. Lw. DM 68,60
65. **Fertigungstypologie** unter dem Gesichtspunkt der Fertigungsablaufplanung. Von W. F. Große-Oetringhaus. 352 S. mit 83 Abb. 1974. Lw. DM 98,—
66. **Grundfragen einer Theorie der optimalen Finanzierung.** Von C. Cremer 102 S. 1974. Lw. DM 44,80
67. **Informationstechnologie und organisatorische Regelungen.** Von H. Kublcek. 402 S. 1975. Lw. DM 96,—
68. **Die Wertschöpfung der Aktiengesellschaft und des Konzerns.** Von G. Kroenlein. 172 S. 1975. Lw. DM 56,60
69. **Die Wertschöpfung der Kreditinstitute.** Von W. Göckeler. 147 S. 1975. Lw. DM 48,60
70. **Leistungsverhalten und Führung in der Unternehmung.** Von C. Steinle. 371 S. 1975. Lw. DM 78,—
71. **Pagatorische Bilanz.** Von E. Kosiol. 1095 S. 1976. Lw. DM 198,—
72. **Das Investitionsrisiko im investitionstheoretischen Ansatz.** Von E. Timm. 162 S. 1976. Lw. DM 68,—
73. **Planungs- und Kontrollsysteme industrieller Unternehmungen.** Von A. Töpfer. 440 S. 1976. Lw. DM 98,—
74. **Grundlagen, Determinanten und situationsbezogene Gestaltung der optimalen Arbeitsaufgabe.** Von U. Spies. 193 S. 1976. Lw. DM 66,—
75. **Optimale Fertigungsablaufplanung.** Von A. Argyris. 213 S. 1977. Lw. DM 84,—
76. **Spieltheorie und Unternehmensplanung.** Von U. Winand. 229 S. 1978. Lw. DM 88,—
77. **Unternehmungskonflikte als Gegenstand unternehmungspolitischer Forschung.** Von W. Dorow. 253 S. 1978. Lw. DM 78,—
78. **Industrielle Standortfaktoren und Betriebstypusbildung.** Von K.-H. Kaiser. 246 S. 1979. Lw. DM 88,—
79. **Kritische Analyse normativer Elemente in der Betriebswirtschaftslehre.** Von K. Berger. 274 S. 1979. Lw. DM 88,—
80. **Organisationsentwicklung.** Von W. v. Eiff. 290 S. 1979. Lw. DM 118,—
81. **Venture Management.** Von K. Natusius. 349 S. 1979. Lw. DM 96,—
82. **Betriebswirtschaftliche Probleme der handels- und steuerrechtlichen Bilanzierungsfähigkeit.** Von F. P. Müller-Dahl. 277 S. 1979. Lw. DM 90,—

D U N C K E R & H U M B L O T / B E R L I N

