

Proceedings
in
Operations Research 9

Herausgegeben

von

J. Schwarze

L. von Dobschütz, B. Fleischmann, Ch. Schneeweiß, H. Steckhan

Vorträge der Jahrestagung 1979

DGOR

Papers of the Annual Meeting 1979



Physica-Verlag · Würzburg—Wien

1980

ISBN 3 7908 0223 9

Inhaltsverzeichnis

Eröffnungsvortrag

<i>Dathe, J.M.</i> : Entscheidungsfelder des Managements – eine Herausforderung für Operations Research	13
---	----

Umweltschutz

<i>Stehfest, H.</i> : Applications of Systems Theory and Operations Research to Water Quality Management – A Survey	31
<i>Irmer, H.</i> : Rechnergestützte Planung von Anlagen zur Klärschlammbehandlung mit Hilfe der deterministischen Simulation.	33
<i>Paessens, H.</i> : Tourenplanung bei der Hausmüllentsorgung	41
<i>Falkenhausen, K. von</i> : Optimierung regionaler Entsorgungssysteme mit der Evolutionsstrategie	46

Produktionsplanung

<i>Streitferdt, L.</i> : Strategien zur Kontrolle der Produktion	55
<i>Fröhner, K.-D.</i> : Modularprogramme zur Fertigungssteuerung und OR-Verfahren .	62
<i>Scheer, A.-W.</i> : Anforderungen und Anregungen für den Einsatz von OR-Modellen im Produktionsbereich aus der Sicht neuer Entwicklungen der Datenverarbeitung	64
<i>Küpper, H.-U.</i> : Ansatz einer theoretischen Analyse von Interdependenzen von Investitions-, Personal- und Produktionsplanung	66

Lagerhaltung

<i>Schneeweiss, Ch.</i> : Industrielle Lagerhaltungsmodelle – eine modelltheoretische Übersicht.	75
<i>Bartmann, D.</i> : The Optimal Regulation of the Cash-Balances of a Credit Institution	77
<i>Zoller, K.</i> : Effiziente Bestellpolitiken in Mehrproduktlagern	79
<i>Haseborg, F. ter</i> : Planungshorizonte und Synchronisationseigenschaften optimaler Mehrprodukt-Lagerhaltungspolitiken	86
<i>Waldmann, K.H.</i> : On Estimation and Control in Inventory Systems	94
<i>Scholz, K.-H.</i> : Ein über den Servicegrad geregeltes Multiprodukt-Lagerhaltungsmodell.	98

Logistik

<i>Hässig, K.</i> : Graphentheoretische Methoden in der Logistik	103
<i>Garcia, R.</i> , und <i>K.-D. Hackbarth</i> : OFELIE – ein EDV-Programmsystem zur langfristigen Planung von Fernmeldenetzen	118
<i>Cremer, M.</i> : Simulation und Regelung des Autobahnverkehrs.	120
<i>Müller, M.</i> : Optimierung eines Flughafen-Vorfeldes durch Simulation	127
<i>Großeschallau, W.</i> : Simulation von EDV-Systemen zur Steuerung von Transportabläufen	134
<i>Ihde, G.B.</i> , <i>D. Eybl</i> und <i>H.H. Merkel</i> : Zur „operational time“ in logistischen Prozessen	136
<i>Dienst, H.</i> : Nachfrageorientierte Taktfahrplangestaltung im Personennahverkehr .	144
<i>Rohde, M.</i> : Ein Lösungsansatz für eine Klasse von Tourenplanungsproblemen: Ein-Depot-Fall	149
<i>Panny, W.</i> : Das Travelling-Salesman-Problem (eine Verbesserung des Algorithmus von Little et al. für symmetrische Distanzmatrizen)	157

Investition und Finanzierung

<i>Haegert, L.</i> : Zur neueren Entwicklung der Investitions- und Finanzierungstheorie	161
<i>Baan, W.</i> : Beschreibung der Routine „Finanzierung und Steuern“ eines EDV-unterstützten Simulationsmodells zur integrierten Erfolgs-, Finanz- und Bilanzplanung	172
<i>Inderfurth, K.</i> : Optimale Strategien zur Kapazitätsanpassung an zufallsabhängige Absatzentwicklungen	180
<i>Schulte, K.-W.</i> : Kapitalwert und Annuität	182
<i>Söhnchen, W.</i> : Zur Entwicklung eines Modells hierarchischer Gesamtplanung . . .	184

Personalplanung

<i>Beth-von der Warth, A.</i> , und <i>V. Steinecke</i> : Unterstützung der Personalaufwandsplanung durch ein erweitertes lineares Modell	193
<i>Schneider, G.</i> : Ein Modell zur Karriereplanung für Führungskräfte	195
<i>Zölzer, G.A.</i> : Zwei Modelle zur Nachwuchsbedarfsplanung	202
<i>Buhr, J.</i> : Vier Methoden für die Zuordnung von Flugbesatzungen zu Einsätzen – ein Leistungsvergleich.	209
<i>Seitz, K.</i> : Sequentielle Methode für ein Zuordnungsproblem	211
<i>Drumm, H.J.</i> : Zur Akzeptanz formaler Personalplanungsmethoden. Ergebnisse einer empirischen Untersuchung.	214
<i>Wessels, J.</i> , <i>C. Verhoeven</i> und <i>J. van Nunen</i> : Personalbestandsplanung in hierarchischen Systemen.	216

OR im Versicherungswesen

<i>Gessner, P.</i> : Ein integriertes Gesamtmodell eines Lebensversicherungsunternehmens – Ansatz der Unternehmensplanung in der Lebensversicherung	223
<i>Gose, G.</i> : Von der Finanzkontrolle zur Finanzplanung	225
<i>Reichel, G.</i> : Das Bernoulli-Prinzip im Versicherungswesen	227
<i>Segerer, G.</i> : Anwendung eines stochastischen Prozesses aus der Schadenversicherung auf die Versicherung von Kumulrisiken in der Lebensversicherung	234

Entscheidungstheorie

<i>Loeffel, H.</i> : Entwicklungstendenzen der Entscheidungstheorie bei Unsicherheit	245
<i>Böcker, F.</i> : Kompositionelle und dekompositionelle Skalierung von Präferenzen	257
<i>Sommer, J.</i> : Empirische Bayes-Schätzverfahren bei quadratischer Schadensfunktion	261
<i>Firchau, V.</i> : Der maximale Wert der Information	267
<i>Burde, T.</i> : Ein Zielgewichtungsansatz zur Lösung von linearen Programmen mit mehrfacher Zielsetzung	272
<i>Huckert, K., R. Rhode, O. Roglin und R. Weber</i> : Zur interaktiven Lösung eines multikriteriellen Entscheidungsmodells der Ablaufplanung	279

Prognoseverfahren und Statistik

<i>Mertens, P., und K. Backert</i> : Vergleich und Auswahl von Prognoseverfahren für betriebswirtschaftliche Zwecke	283
<i>Förster, W.</i> : Prognose von Zeitreihen mittels linear-rekursiver Funktionen	285
<i>Quelle, G.</i> : Univariable Analyse „stark verschmutzter“ Zeitreihen: Vergangenheitsanalyse, Prognose, Frühwarneigenschaften	292
<i>Wilde, K.D.</i> : Kausale Prognose des Energiebedarfs in der Stadt München im Jahr 2000	294
<i>Schramm, Ch., und D. Bartmann</i> : Tagesgenaue Prognosen	301
<i>Weckerle, J.</i> : Bedarfsprognose durch Hochrechnung des Auftragsbestandes	308
<i>Hansmann, K.-W.</i> : Absatzprognose für Publikumszeitschriften	313
<i>Hautzinger, H.</i> : Statistische Lebensdaueranalyse von Zeitschriftenabonnements	320
<i>Katzenbeisser, W.</i> : Simultane Inferenz in ökonometrischen Modellen	322
<i>Lindner, K.</i> : Das maximale Signifikanzniveau bei Simultantests	330
<i>Simon, H.</i> : Ein dynamisches Werberesponsemodell mit Abnutzungseffekten und Pulsation	336
<i>Fahrmeir, L., H.L. Kaufmann und Ch. Kredler</i> : Modellwahl und numerische Aspekte bei der Bestimmung von Bayes-Klassifikatoren	341
<i>Schüler, L., und H. Wolff</i> : Automatische Klassifikation bei unbekannter Klassenzahl auf der Basis globaler Dichteschätzungen	348
<i>Späth, H.</i> : Klassenweise Regressionsanalyse	350

Qualitätskontrolle

<i>Hamaker, H.C.</i> : Sampling Inspection and Sampling Inspection Standards from Various Points of View	355
<i>Reimann, A.</i> : Zur Verbesserung von Prüfplänen für die Gut-Schlecht-Prüfung durch Skip-Lot-Strategien	373
<i>Reetz, D.</i> : Prüfpläne für Markoff'sche Produktionssysteme	375
<i>Deutler, T.</i> : Sampling Plans for the Mean of a Normal Distribution with Known Homogeneous Coefficient of Variation	377
<i>Gal, J.</i> : Variables Sampling Plans based on the Normal Prior Distribution of the Mean Quality and costs.	379
<i>Behl, M.</i> : Die messende Prüfung bei Abweichung von der Normalverteilungsannahme.	381
<i>Hackl, P.</i> : Control Chart Techniques	383
<i>Reichelt, C.</i> : Entwicklung und Verwendung statistischer Methoden in der industriellen Praxis	386
<i>Czegan, W.T.</i> : Qualitätssicherung durch den Einsatz interaktiver Datenbanken für CAD/CAM.	388

Zuverlässigkeitstheorie und Bedienungstheorie

<i>Schneeweiß, W.G.</i> : Zuverlässigkeitstheorie einer Betrachtungseinheit – eine Ergebnisübersicht als Grundlage für OR-Studien	393
<i>Jensen, U.</i> : Kostenfunktion und Zuverlässigkeit einzelner Komponenten in Parallel- und Seriensystemen	405
<i>Gaede, K.-W.</i> : Regenerative Prozesse in der Zuverlässigkeitstheorie	410
<i>Wolff, M.-R.</i> : Dynamische Instandhaltungsplanung für einfache Produktionssysteme	412
<i>Gaul, W.</i> : Zuverlässigkeitsschranken bei zeit-assoziierten verallgemeinerten Serien-Parallel-Systemen	419

Stochastische Entscheidungsprozesse

<i>Tijms, H.C.</i> : Steady-state Analysis and Optimal Control of Queueing and Inventory Problems.	423
<i>Kolonko, M., und M. Schäl</i> : Optimal Control of Semi-Markov Chains under Uncertainty with Applications to Queueing Models	430
<i>Deppe, H.</i> : Average Costs in a Semi-Markov Decision Model	436
<i>Meško, I., und I. Kavkler</i> : Optimierung der Produktionsprozesse in Verbindung mit der Faktorenanalyse	438
<i>Wessels, J.</i> : Charakterisierung von optimalen Strategien in allgemeinen stochastischen Entscheidungsprozessen	444

<i>Van der Wal, J.</i> : Value Oriented Successive Approximations for the Average Reward Markov Decision Process; some Results	446
<i>Rieder, U.</i> : Gute Strategien in dynamischen Spielen.	451
<i>Wijngaard, J.</i> : Decomposition in Stochastic Dynamic Programming for Production and Inventory Control	453
Ganzzahlige Programmierung	
<i>Derigs, U.</i> : Methoden zur Lösung des Bottleneck-Transportproblems.	457
<i>Albers, S.</i> : Zur Lösung des Cluster-Analyse-Problems über das Set-Partitioning-Problem.	466
Nichtlineare Programmierung	
<i>Wiebking, R.</i> : Verschiedene Anwendungen der nichtlinearen Programmierung. . .	475
<i>Eckhardt, U.</i> : Probleme der Berechnung optimaler Standorte.	477
<i>Gernert, D.</i> : A Numerical Method for Nonlinear Problems of Optimal Control . .	479
<i>Feichtinger, G.</i> : Optimale intertemporale Allokationen mittels des Maximumprinzips	484
<i>Indihar, S.</i> : Multilineare Optimierung	490
Simulation	
<i>Rechenberg, I.</i> : Problemlösungen mit Evolutionsstrategien	499
<i>Schwefel, H.-P.</i> : Ein Leistungsvergleich ableitungsfreier Methoden der nichtlinearen Parameteroptimierung	503
<i>Ferstl, O.</i> : Top Down Entwurf von Simulationsmodellen	505
<i>Hoßfeld, B.</i> : Simulation von Melde- und Befehlsabläufen	512
<i>Bauknecht, K., und P. Pircher</i> : Zur Simulation und analytischen Behandlung von Computersystemen. Schwerpunkte und Grenzen in der Praxis	518
<i>Mresse, M.</i> : Flughafenplanung mit einem Mehrzweckmodell	530
OR-Software und Implementierung von Algorithmen	
<i>Ohse, D.</i> : Linear Programming Software – Ein Überblick über das Angebot und den Entwicklungsstand moderner LP-Systeme.	539
<i>Peeters, H.</i> : Empirischer Leistungsvergleich kommerzieller Softwaresysteme APEX III, FMPS, MPSX-MIP/370 bei gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblemen	551
<i>Gabriel, R.</i> : Entwurf und Implementierung eines computerunterstützten Dialogsystems zur interaktiven Berechnung linearer binärer Optimierungsprobleme .	559
<i>Hahn, W., und G. Vogel</i> : EDV-unterstütztes Informations- und Steuerungssystem für Instandhaltungs- und Investitionstätigkeiten.	566

<i>Bielefeld, F.W., und K.-D. Walter: Modellunterstützte Unternehmensplanung aus der Sicht eines Anwenders.</i>	573
<i>Tiemeier, U., und Chr. Poetsch: OPERA, ein allgemeines System zur Implementierung von OR-Algorithmen</i>	576
OR in der Datenverarbeitung	
<i>Stahlknecht, P.: Quantitative Methoden für das DV-Management</i>	581
<i>Hasenkamp, U.: Generatorgestützte Simulation von Datenfernverarbeitungssystemen</i>	583
<i>Schmidt, B.: Leistungsvorhersagen für Prozeßrechenanlagen</i>	585
<i>Schünemann, T.M.: Optimale Zuordnung von Datenbeständen zu Datenträgern.</i>	587
<i>Zorn, W., H.-W. Große und M. Haas: Leistungsoptimierung von DV-Systemen.</i>	595
Modellstrukturierung im OR	
<i>Meyer zu Selhausen, H.: Szenario-abhängige Ausgestaltung der OR/MS-Methodik</i>	605
<i>Pfohl, H.-Chr.: Methodische und verhaltenswissenschaftliche Grundlage der Problemdefinition</i>	607
<i>Gaitanides, M.: Informationsbewertung und Modellstrukturierungsfehler.</i>	615
<i>Müller-Merbach, H., und D.W. Nelgen: Der Nutzen psychologischer Typologien für die modellgestützte Entscheidungsvorbereitung.</i>	622
Planspiele	
<i>Niemeyer, K.: Anwendungen der Planspielmethodik</i>	633
<i>Reidelhuber, O.: Über die Entwicklung eines taktischen Entscheidungsmodells für Gefechtssimulationen</i>	647
<i>Biethan, J.: Erfahrungen mit Unternehmensspielen im Bereich des betrieblichen Rechnungswesens</i>	655
<i>Reimann, H.L.: Lernziele bei pädagogischen Planspielen</i>	657
<i>Baetge, J.: Unternehmensspiele: Amusement oder Ausbildungshilfe? – Erfahrungen eines Spielleiters</i>	661
Autorenverzeichnis	663

Ansatz einer theoretischen Analyse von Interdependenzen von Investitions-, Personal- und Produktionsplanung

H.-U. Küpper, Essen

Zusammenfassung

In dem Beitrag wird ein Simultanmodell formuliert, das in drei Teilmodellen die Ausstattung der Unternehmung mit Personal und Anlagen, die Zuordnung von Anlagen und Arbeitskräften zu Stellen sowie die Gestaltung von Produktionsprogramm und Produktionsvollzug abbildet. Es dient als Grundlage für die Analyse wichtiger Interdependenzen zwischen diesen Problembereichen. Für die praktische Planung wird vorgeschlagen, nach einer sukzessiven Lösung der Partialmodelle eine Abstimmung ihrer Lösungen durchzuführen, die auf den Ergebnissen von Sensitivitätsanalysen für ihre Interdependenzparameter beruht.

Summary

In this paper a model is formulated containing the equipment of the firm with personal and machines, personal assignment and production planning. It serves to analyse important interrelations between these problems. For practical planning it is suggested to solve partial models successively; after that the solutions of the isolated models should be adjusted on the basis of sensibility analyses of their interrelating parameters.

1. Problemstellung

Modellen der isolierten Investitions-, Personal- oder Produktionsplanung liegen Prämissen über die Ausprägung der jeweils anderen Bereiche zugrunde. Solche Annahmen lassen sich durch die explizite Aufnahme der sie bestimmenden Variablen in einen umfassenderen Ansatz ersetzen. Aus diesem Grund sind Modelle der simultanen Investitions- und Programmplanung, der simultanen Investitions- und Personalplanung sowie der simultanen Personal- und Programmplanung entwickelt worden. In ihnen werden jeweils zwei Problembereiche simultan abgebildet. Als Entscheidungstatbestand der Produktion wird jedoch nur das Produktionsprogramm berücksichtigt. Annahmen über die Gestaltung des Produktionsvollzugs kommen in vorzuziehenden Parametern für die Stückzeiten je Produkteinheit oder den Personalbedarf je Investitionsobjekt bzw. je Produkteinheit zum Ausdruck. Durch die Formulierung eines umfassenden Investitions-, Personal- und Produktionsmodells soll gezeigt werden, welche Entscheidungstatbestände für derartige Parameter und die Interdependenzen zwischen diesen Bereichen bestimmend sind.

2. Struktur eines umfassenden Investitions-, Personal- und Produktionsmodells

Für die Abbildung von Interdependenzen zwischen Investitions-, Personal- und Produktionsplanung werden drei *Problemebenen* unterschieden. Die oberste Problemebene betrifft die Ausstattung mit maschinellen Anlagen und Personal. Ihr steht als unterste Problemebene die Gestaltung von Produktionsprogramm und Produktionsvollzug gegenüber. Die Verbindung zwischen diesen beiden Ebenen wird auf einer mittleren Problemebene durch die gegenseitige Zuordnung von Anlagen und Arbeitskräften zu Produktiveinheiten und Stellen geschaffen.

Aufgrund der unterschiedlichen zeitlichen Reichweite der Variablen wird der Betrachtungszeitraum des vorliegenden Modells zum einen in *Ausstattungsperioden* mit fest vorgegebenen Periodendauern untergliedert. Veränderungen im Bestand an Personal und Anlagen können nur zu Beginn einer Periode vorgenommen werden. Zum andern wird jede Ausstattungsperiode in eine vorzugebende Zahl an *Produktionsintervallen* mit variablen Intervalldauern eingeteilt. Lediglich zu deren Beginn sind Änderungen in der Maschinenbelegung zugelassen.

Die Abbildung der *Ausstattung mit maschinellen Anlagen* geschieht in Anlehnung an Investitionsmodelle von H. Jacob (1974). Für den hier gewählten Untersuchungsgegenstand bleiben finanzielle Aspekte vereinfachend außer acht. Die im Produktionsbereich einzusetzenden Anlagen werden durch ihren Funktionstyp, welcher die von ihnen herstellbaren Produktarten bestimmt, und die Perioden ihrer Anschaffung gekennzeichnet. Wie bei Jacob wird unterstellt, daß die Nutzungsdauern möglicher Investitionsalternativen im voraus geschätzt werden können und von der Art der Anlagennutzung unabhängig sind. Entscheidungen über die Ausstattung mit Anlagen gehen in die Bestandsgleichungen (1) des auf den folgenden Seiten zusammenfassend wiedergegebenen Modells ein.

Für die *Personalausstattung* im Produktionsbereich lassen sich entsprechende Personalbestandsgleichungen aufstellen. Die Zahl einsetzbarer Arbeitskräfte wird in der Realität durch Einstellungen und Entlassungen sowie durch freiwillige Kündigungen, Versetzungen, Freistellungen, Krankheit, Pensionierung, Tod u.a. verändert. Diese Tatbestände werden in den Gleichungen (2) vereinfachend durch Variablen für den Zugang und für den Abgang von Personal zusammengefaßt. Qualitative Eigenschaften der Arbeitskräfte werden durch die Unterscheidung von Qualifikationsgruppen gekennzeichnet. Jeder Qualifikationsgruppe sind die verschiedenen Funktionstypen an Maschinen eindeutig zugeordnet, die sie bedienen kann.

Zur Abbildung der *Produktionsalternativen* wird ein Modell formuliert, das auf einem von D. B. Pressmar (1974) entwickelten Ansatz basiert. Grundlegende Größen sind Fertigungszeitvariablen, welche die Zeitdauern der Bearbeitung eines Zwischen- oder Endprodukts auf einer Anlage mit einer (variierbaren) Intensität je Intervall angeben. Die Handlungsalternativen der Arbeitsverteilung und

Verzeichnis der verwendeten SymboleVariablen:

A = Arbeitskräftebestand
 \hat{A} = Arbeitskräftezugang
 \bar{A} = Arbeitskräfteabgang
 M = Anlagenbestand
 \hat{M} = Anlagenzugang
 \bar{M} = Anlagenabgang
 d = Fertigungs- oder Intervallzeit
 l = Lagerbestandsmenge
 r = Einsatzmenge
 u = Umrüstvariable
 x = Absatzmenge
 z = Zuordnungsvariable

Koeffizienten:

α = Werkstoffverbrauch je Produkteinheit
 β = Betriebsstoffverbrauch je Fertigungszeiteinheit
 γ = Betriebsstoffverbrauch je Rüstzeiteinheit
 ϵ = Bedienungszeit je Fertigungszeiteinheit
 ρ = Produktionsgeschwindigkeit
 σ = Untergrenze der Absatzgeschwindigkeit
 $\bar{\sigma}$ = Obergrenze der Absatzgeschwindigkeit
 h = Rüstzeit
 D = Periodendauer
 N = Menge von Anlagen, die zu einer Stelle zusammengefaßt werden könnten

Indices:

τ = Periode
 τ' = Zugangsperiode von Arbeitskräften bzw. Anlagen
 δ = Intensitätsstufe
 a = Arbeitskraft
 b = Betriebsstoffart
 e = Qualifikationsgruppe
 m = Anlage
 p, q = Produktart
 s = Rohstoffart
 t = Intervall
 v = Funktionstyp

π = diskontierter Stückerlös
 a = diskontierte Lohnkosten je Arbeitskraft und Periode
 c = diskontierte Lagerkosten je Stück und Zeiteinheit
 e = diskontierte Einstellkosten je Arbeitskraft
 k = diskontierte Materialkosten je Stück
 L = diskontierter Liquidationserlös
 m = diskontierte anteilige Anschaffungsausgaben je Anlage im Betrachtungszeitraum
 w = diskontierte anteilige Wartungs- und Pflegekosten je Anlage und Periode

Ausstattungs (teil)modell

$$(1) M_v^T = \sum_{\tau'=0}^{\tau} \hat{M}_{v\tau'} - \sum_{\tau'=0}^{\tau-1} \sum_{v=\tau'+1}^{\tau} \bar{M}_{v\tau'}^v \quad \forall v, \tau$$

$$(2) A_e^T = \sum_{\tau'=0}^{\tau} \hat{A}_{e\tau'} - \sum_{\tau'=0}^{\tau-1} \sum_{v=\tau'+1}^{\tau} \bar{A}_{e\tau'}^v \quad \forall e, \tau$$

$$(3) M_v^T, \hat{M}_{v\tau'}, \bar{M}_{v\tau'}, A_e^T, \hat{A}_{e\tau'}, \bar{A}_{e\tau'} \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \forall v, e, \tau, \tau'$$

Produktions (teil)modell

$$(4) d_{pm\delta}^{\tau t} \leq z_{pm}^{\tau t} \cdot D^{\tau} \quad \forall p, m, \delta, \tau, t$$

$$(5) \sum_p z_{pm}^{\tau t} \leq 1 \quad \text{ganzzahlig} \quad \forall m, \tau, t$$

$$(6) u_{qpm}^{\tau t} \geq z_{qm}^{\tau, t-1} + z_{pm}^{\tau t} - 1 \quad \forall q, p, m, \tau, t$$

der Auftragsfolgen werden über binäre Zuordnungsvariablen erfaßt. Entsprechend den Bedingungen (5) wird vorausgesetzt, daß jede Anlage in jedem Intervall höchstens eine Produktart fertigt. Erzeugung, Lagerung, Wiedereinsatz und Absatz von Zwischen- oder Endprodukten geben die Produktgleichungen (7) wieder. Aus ihnen folgt unter Beachtung der Absatzbeschränkungen (8) das Produktionsprogramm. Auf den Einsatz und die Lagerung von Roh- bzw. Betriebsstoffen beziehen sich die Gleichungen (9) und (10).

Maßgeblich für die Verbindung von Investitions-, Personal- und Produktionsplanung ist der *Bedarf an maschineller und menschlicher Arbeitszeit*. Die Nebenbedingungen (11) legen fest, daß die Einsatzzeiten jeder Anlage als Summe aus Fertigungs- und Rüstzeiten die Intervalldauern nicht überschreiten. Für die in Anspruch genommene menschliche Arbeit ist die Zuordnung der Arbeitskräfte zu den Maschinen bestimmend. Geht man davon aus, daß Arbeitskräfte lediglich zur Umrüstung sowie zum Ein- und Ausspannen der Werkstücke tätig werden, so können in einer Stelle mehrere Anlagen einer Arbeitskraft zugeordnet werden. Um die Möglichkeiten der Zuordnung von Arbeitskräften zu Anlagen wiederzugeben, werden weitere binäre Zuordnungsvariablen eingeführt. Sie geben an, ob eine bestimmte Arbeitskraft einer Anlage in einer Periode zugeordnet ist oder nicht. Mit ihnen werden über die Nebenbedingungen (12) und (13) die Einsatzzeiten jeder Arbeitskraft pro Intervall ermittelt und sichergestellt, daß diese die Intervalldauern nicht übersteigen.

Die *Verbindung zwischen Ausstattungsmodell und Produktionsmodell* stellen die Nebenbedingungen (16) bis (21) her. Über die Zuordnungsvariablen des Produktionsmodells, durch die jede einzelne Anlage abgebildet wird und die in jedem Intervall höchstens für eine Produktart den Wert Eins annehmen können, läßt sich die Anzahl genutzter Anlagen bestimmen. Diese Anzahl darf entsprechend den Bedingungen (16) den Anlagenbestand dieses Typs in der betreffenden Periode nicht übersteigen. Zu einer Stelle können in der Regel nur räumlich benachbarte Anlagen zusammengefaßt werden. Deshalb wird in den Nebenbedingungen (17) vorausgesetzt, daß für jede potentiell verfügbare Anlage festgelegt ist, welche Anlagen nicht mit ihr zu einer Stelle kombiniert werden können. Die Menge aller Anlagen wird hierzu in Teilmengen möglicher Stellen gegliedert, deren Schnittmengen Alternativen der Stellenbildung zeigen. Während für die Ausstattung mit Personal nach den Gleichungen (2) die Anzahl der Arbeitskräfte kennzeichnend ist, muß zur Abbildung ihrer Einsatzmöglichkeiten vom Personalbestand auf die individuellen Arbeitskräfte übergegangen werden. Hierzu sind weitere Binärvariablen erforderlich, welche die Verfügbarkeit der einzelnen Arbeitskraft in einer Periode angeben. Mit diesen Variablen können über die Nebenbedingungen (19) die Beziehungen zur Stellenbildung und über die Nebenbedingungen (20) die Beziehungen zur Personalausstattung hergestellt werden.

Die *Auswirkungen* der berücksichtigten Variablen auf *Kosten und Leistungen* im Betrachtungszeitraum sind in der Zielfunktion (22) abgebildet. Die Absatzmengen der Produkte und die Einsatzmengen

für Roh- sowie Betriebsstoffe sind ebenso wie die Zu- und Abgänge sowie Bestände an Personal und Anlagen durch Modellvariablen erfaßt. Über eine Bewertung dieser Gütermengengrößen mit diskontierten Stückpreisen, Lohnkosten, anteiligen Anschaffungsausgaben und Liquidationserlösen läßt sich ein Teil der relevanten Leistungen und Kosten direkt zurechnen. Dagegen erfordert die Ermittlung der Lagerkosten, der Einstellkosten für Arbeitskräfte sowie der Kosten für Wartung und Pflege von Anlagen die Vorgabe von Kostensätzen, die durch eine Verteilung anderer Kostenarten zu ermitteln sind.

3. Analyse wichtiger Interdependenzen

Anhand dieses Modells lassen sich wichtige Interdependenzen zwischen den abgebildeten Bereichen kennzeichnen. Durch die *Ausstattung mit Anlagen* entsprechend Gleichung (1) wird über die Nebenbedingungen (16) festgelegt, welche Anlagen zur Durchführung von Produktionsprozessen verfügbar sind. Die Möglichkeiten der Arbeitsverteilung und der Auftragsfolgen werden durch Änderungen in der Anlagenausstattung unmittelbar beeinflußt. Dem steht gegenüber, daß der *Bedarf an Anlagen* sowie deren Auslastung entsprechend den Bedingungen (11) nicht nur von den absetzbaren und herzustellenden Produktmengen, sondern auch von den Intensitäten, dem Rüstzeitbedarf sowie den auftragsfolgeabhängigen Leerzeiten bestimmt werden. Die *wechselseitigen* Beziehungen zwischen Investition, Produktionsprogramm und Produktionsvollzug werden anhand dieser Nebenbedingungen unmittelbar ersichtlich.

Jedoch werden die maximal herstellbaren Produktmengen auch durch die gemäß den Gleichungen (2) verfügbaren *Arbeitskräfte* begrenzt. Die Nebenbedingungen (17) bis (20) des Zuordnungsmodells zeigen, daß die menschliche Arbeitskapazität nicht allein von Zahl und Qualifikation der vorhandenen Arbeitskräfte abhängig ist. Bestimmend ist auch, wieviele Anlagen von einer Person in einer Stelle zu bedienen sind und welche Tätigkeiten sie entsprechend den Bedingungen (12) an jeder Anlage durchzuführen hat. Je häufiger Anlagen umgerüstet und je öfter Werkstücke ausgewechselt werden müssen, desto länger ist eine Person an eine Anlage gebunden. Damit wirken sich die Losgrößen und die Produktionsgeschwindigkeiten auf die Auslastung der Arbeitskraft je Anlage aus. Eine geringe Zahl an Arbeitskräften sowie die Zusammenfassung mehrerer Anlagen zu einer Stelle können über die Nebenbedingungen (12) und (13) Leerzeiten der Anlagen sowie Einschränkungen der Produktmengen zur Folge haben. Daran wird erkennbar, daß einerseits der verfügbare Anlagenbestand und dessen Auslastung über Programm- und Vollzugsvariablen den Bedarf an menschlicher Arbeit bestimmen. Andererseits beschränken der Arbeitskräftebestand sowie seine Zuordnung zu Stellen und Anlagen die Produktionsmöglichkeiten und die Anlagennutzung.

Aus dem umfassenden Modell wird deutlich, daß die Variablen der Ausstattung mit Personal und Anlagen in keiner direkten Beziehung zueinander sowie zum Produktionsprogramm stehen. Sie sind vielmehr über die Entscheidungstatbestände der Stellenbildung und des Produktionsvollzugs *indirekt* miteinander verbunden.

4. Gesichtspunkte für Unternehmensplanung und Unternehmensrechnung

Eine unmittelbare Berücksichtigung dieser Interdependenzen durch die Anwendung eines umfassenden Simultanmodells ist praktisch kaum durchführbar. Deshalb sind Wege zu suchen, wie die Interdependenzen bei *isolierter Teilplanung* berücksichtigt werden können. Zweckmäßig erscheint entsprechend dem Vorschlag von H. Seelbach (1973) der Versuch, nach einer sukzessiven Lösung von Partialmodellen auf der Grundlage von Sensitivitätsanalysen eine verträgliche gemeinsame Lösung zu ermitteln. Zentrale Bedeutung haben hierbei *Interdependenzparameter*, in welchen sich die Erwartungen über die Lösung des jeweils nachfolgenden Partialmodells niederschlagen. Sie geben zum einen im allgemeinen als Wertgrößen in den *Zielfunktionen* die Auswirkungen nachfolgender Entscheidungen auf die Ziele wieder. Zum andern sind sie in *Nebenbedingungen* als Gütermengengrößen enthalten. Beispielsweise sind in einem Partialmodell der Ausstattungs- und Produktionsprogrammplanung Parameter für die Stückkosten in der Zielfunktion und die Stückzeiten in den Nebenbedingungen vorzugeben, deren exakte Werte von den Entscheidungen über Personalzuordnung und Produktionsvollzug abhängen. Für diese Parameter sind *Sensitivitätsanalysen* vorzunehmen. Liegen ihre Werte nach einer ersten sukzessiven Lösung der Partialmodelle nicht im zulässigen Bereich, müssen sie systematisch variiert und neue Lösungen der Partialmodelle bestimmt werden. Für einen solchen iterativen Abstimmungsprozeß sind exakte Verfahren z.B. der parametrischen Programmierung oder heuristische Regeln zu finden, durch welche er sich auf eine befriedigende Gesamtlösung hin steuern läßt.

Die Gliederung in partielle Planungsbereiche beeinflusst auch die *Rechnungsziele der Unternehmensrechnung*. Von ihr hängt insbesondere ab, für welche Interdependenzparameter in der Unternehmensrechnung Schätzwerte ermittelt werden müssen. Die Unternehmensrechnung kann diese Aufgabe nur erfüllen, wenn sie auf die Struktur des Planungssystems hin ausgerichtet ist und Art sowie Bedeutung der wichtigsten Interdependenzen kennt.

Literatur:

- Jacob, H., Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, Wiesbaden 1974.
- Küpper, H.-U., Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und der Organisation des Produktionsprozesses, Habilitationsschrift Tübingen 1977 (im Druck).
- Pressmar, D.B., Evolutorische und stationäre Modelle mit variablen Zeitintervallen zur simultanen Produktions- und Ablaufplanung, in: Proceedings in Operations Research 3, hrsg. v. P. Gessner u.a. Würzburg, Wien 1974, S. 462-475.
- Seelbach, H., Interdependente Programm- und Prozeßplanung, in: Zur Theorie des Absatzes, hrsg. von H. Koch, Wiesbaden 1973, S. 447-474.