

GRUNDLAGEN UND PRAXIS DER BETRIEBSWIRTSCHAFT
Band 42

Heuristische Investitionsplanung

Entscheidungshilfen für die Praxis

Von

Dr. rer. pol. Joachim Fischer

ERICH SCHMIDT VERLAG

CIP-Kurzzeitleaufnahme der Deutschen Bibliothek

Fischer, Joachim:

Heuristische Investitionsplanung: Entscheidungs-
hilfen für die Praxis / von Joachim Fischer. -
Berlin: E. Schmidt, 1981.

(Grundlagen und Praxis der Betriebswirtschaft;

Bd. 42)

ISBN 3-503-01940-5

NE: GT

31
QBT
2831



81/20089

ISBN 3 503 01940 5

Alle Rechte vorbehalten

© Erich Schmidt Verlag, Berlin 1981

Druck: Regensberg, Münster

Gelcitwort

In verschiedenen Problembereichen der Betriebswirtschaftslehre gibt es ein beachtliches Mißverhältnis zwischen Theorie und Praxis. Besonders deutlich ausgeprägt ist dieses Mißverhältnis in den Bereichen der Investitions- und Produktionsplanung.

„Die Theorie“ hat sich lange Jahre darauf konzentriert, formal höchst beeindruckende komplexe Entscheidungsmodelle zu entwickeln sowie Verfahren zu entwickeln, die es – mindestens im Prinzip – gestatten, exakte Lösungen für die modellierten Entscheidungsprobleme zu finden. In „der Praxis“ jedoch haben solche theoretisch befriedigenden Entscheidungstechniken wenig Anklang gefunden. Die Praxis mag für ihre Zurückhaltung tatsächlich auch zahlreiche gute Gründe haben. Zum einen fehlt es an erprobten Rezepten zur Konstruktion praxissgerechter Entscheidungsmodelle; zum anderen gibt es oft unlösbare Probleme, die erforderlichen Daten zu beschaffen; ferner sind zahlreiche Problemstellungen so komplex, daß sie mit den heute verfügbaren Verfahren und EDV-Anlagen nicht oder nicht ökonomisch lösbar sind. Schließlich kommt es in der Praxis regelmäßig nicht auf exakte Optimierungslösungen an, „gute“ Lösungen reichen vollkommen aus.

Die Frage, ob und inwieweit heuristische Verfahren in der Lage sind, betriebliche Entscheidungsprobleme praxissgerecht zu modellieren und zu lösen, ist daher wissenschaftlich ein „Gebot der Stunde“. Das vorliegende Werk stellt einen beachtenswerten Versuch dar, die damit verbundenen Teilfragen zu präzisieren, sie systematisch zu analysieren und mindestens teilweise auch zu beantworten.

Dies alles geschieht in der Schrift von Fischer vor dem Hintergrund der Planung von Investitionsprogrammen. Der Verfasser konzentriert sich dabei auf den Einsatz heuristischer Verfahren zur Konstruktion und zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsmodellen unter Sicherheit. Seine breit angelegte Konzeption und eine besonders sorgfältige Vorgehensweise im Detail führen zu einer erheblichen Wissensbereicherung über heuristische Investitionsplanung und zu zahlreichen theoretisch und praktisch interessanten Einsichten.

Da es notwendig war, Beschränkungen vorzunehmen, bleiben trotz des ungewöhnlichen Umfangs drei wichtige Problembereiche ungeklärt. Erstens ist das Thema heuristischer Planung bei Ungewißheit zu nennen, zweitens werden Probleme der Datenbeschaffung weitgehend ausgelassen und drittens wird nicht geklärt, wie und mit welchem Erfolg eine integrierte Planung des Investitions- und Produktionsbereichs auf heuristischem Wege erfolgen könnte. Hier sollten künftige Forschungsbemühungen ansetzen. Die Ergebnisse von Fischer geben dabei mancherlei Anregungen.

Die Schrift wendet sich nicht nur an den Theoretiker, sondern auch an den wissenschaftlich orientierten Praktiker. Für den Fortschritt der Forschung auf dem Gebiet der quantitativen Planungsrechniken wäre es nützlich, wenn die Diskussion die hier vorgelagten Anregungen und Ergebnisse aufgreifen würde.

Berlin, im November 1980

Prof. Dr. Hans Blohm
Prof. Dr. Lutz Kruschwitz

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. <u>Einleitung</u>	1
1.1 <u>Problemstellung</u>	1
1.2 <u>Gang der Untersuchung</u>	10
2. <u>Problemstellung, Modelle und Lösungsverfahren der Investitionsprogrammplanung</u>	15
2.1 <u>Problemstellung der Programmplanung</u>	15
2.1.1. <u>Abgrenzung</u>	15
2.1.2. <u>Betriebswirtschaftliche Entscheidungsmodelle und Investitionsplanung</u>	20
2.2. <u>Charakterisierung von Entscheidungsmodellen zur Investitionsprogrammplanung</u>	26
2.2.1. <u>Grundsätzlicher Aufbau der Modelle</u>	26
2.2.2. <u>Elemente der Modelle</u>	28
2.2.2.1. <u>Die Handlungsmöglichkeiten</u>	28
2.2.2.2. <u>Die Handlungskonsequenzen der Investitionsalternativen</u>	33
2.2.2.3. <u>Das Zielsystem des Investors</u>	40
2.2.2.4. <u>Restriktionen und Systembeziehungen</u>	49
2.2.2.5. <u>Der Planungszeitraum des Investors</u>	54
2.2.2.6. <u>Zusammenfassung der Elemente in einem morphologischen Kasten und Einordnung ausgewählter Modelle der Investitionsprogrammplanung</u>	63
2.3. <u>Ein Modell zur Investitionsprogrammplanung bei sich ändernden Erwartungen</u>	72
2.3.1. <u>Aufgabe und Aufbau des Modells</u>	72
2.3.2. <u>Die Elemente des Modells</u>	76
2.3.2.1. <u>Das Investitions- und Finanzierungsmodell</u>	76
2.3.2.2. <u>Die Teilmodelle des Leistungsbereiches der Unternehmung</u>	82
2.3.2.2.1. <u>Das Produktionsmodell</u>	84
2.3.2.2.2. <u>Das Beschaffungsmodell</u>	89
2.3.2.2.3. <u>Das Absatzmodell</u>	91

Vorbemerkungen

Die Betriebswirtschaftslehre hat für die Investitionsplanung in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Modellen und Verfahren entwickelt. Diese meist komplexen Planungsverfahren haben unbestreitbare Vorteile und stehen daher im Mittelpunkt der Lehre an den Universitäten. In der Praxis sind diese Ansätze hingegen (noch ?) kaum verbreitet, da sie sehr hohe Anforderungen an die zur Verfügung stehenden Daten, die mathematischen Lösungsverfahren und an die Computertechnologie stellen. Diese Lücke zwischen Theorie und Praxis ist nicht nur für den Praktiker unbefriedigend, der die theoretischen Erkenntnisse in seinen Planungs- und Entscheidungsprozessen nicht nutzen kann, sondern auch für den Theoretiker, der die Weiterentwicklung und Vermittlung dieser Ansätze zunehmend für nutzlos und praktisch irrelevant hält. Ich habe das besonders drastisch gespürt, als eine betriebswirtschaftliche Fachzeitschrift ein unter meiner Mitwirkung entstandenes Aufsatzmanuskript zur Investitionsplanung mit der Bemerkung ablehnte: „... da wir zweifeln, ob je ein in der Praxis tätiger Betriebswirtschaftler nach derart diffizilen und ausgeklügelten Methoden über konkrete Investitionsprojekte entscheiden wird“.

In dieser Arbeit habe ich mich bemüht, die Tendenz zur weiteren Komplizierung zu vermeiden und Methoden zu entwickeln, die die theoretischen Erkenntnisse zur Investitionsprogrammplanung der Praxis zugänglich machen, indem sie realistische Anforderungen an die dort vorhandenen Voraussetzungen stellen. Ich hoffe, daß mir das zumindest ansatzweise gelungen ist.

Viele haben dazu beigetragen, daß diese Arbeit entstehen konnte. Im privaten Bereich haben mir Birgit und ihre Eltern Gisela und Hans Eider jahrelang die Atmosphäre geschaffen, die ein konzentriertes Arbeiten an einem solchen Projekt erst möglich macht. Im wissenschaftlichen Bereich hat mein Chef, Herr Prof. Dr. Lutz Kruschwitz, diese Dissertation weit über das sonst übliche Maß durch Anregungen, wertvolle Ratschläge und ausgezeichnete Arbeitsmöglichkeiten unterstützt und diese Arbeit gemeinsam mit Herrn Prof. Dr. Hans Blohm begutachtet. Sehr geholfen haben mir auch mein ehemaliger Kollege Herr Dr. Wilfried Zimmermann, dessen oft sehr kritische Anmerkungen das Manuskript entscheidend verbessert haben, und Herr cand. ing. Gernot Meißner, der nicht nur viele Abbildungen mit erstannlicher Präzision zeichnete, mit die Literaturbeschaffung sehr erleichterte und die technische Fertigerstellung der Arbeit übernahm, sondern mir auch in zahllosen Gesprächen mannigfaltige Anregungen gab. Wesentliche Unterstützung bei der Implementierung der umfangreichen Programmsysteme gaben mir die Herren Hoffmann und Schwenkler vom Rechenzentrum der Technischen Universität Berlin.

Frau Marianne Ludwig hat große Teile des Manuskripts in die Reinschrift übertragen. Ihnen allen sei herzlich gedankt!

Berlin, im Oktober 1980

Joachim Fischer

2.3.2.3.	Das Verknüpfungsmodell zwischen finanzwirtschaftlichen und Leistungswirtschaftlichen Teilmodellen	Seite 93
2.3.2.4.	Das Zielmodell	94
2.3.3.	Einordnung des konzipierten Entscheidungsmodells	95
2.3.4.	Modellumfang	96
2.3.4.1.	Modellumfang allgemein	96
2.3.4.2.	Modellumfang anhand eines praktischen Beispiels	99
2.4.	Lösungsverfahren für Entscheidungsmodelle der Investitionsprogrammplanung	105
2.4.1.	Formale Anforderungen an Lösungsverfahren	105
2.4.2.	Optimierungsverfahren	108
2.4.3.	Suboptimale Lösungsverfahren	131
3.	Die Bedeutung der Investitionsprogrammplanung in der betrieblichen Praxis	146
3.1.	Die Investitionsprogrammplanung in der Praxis - eine Auswertung empirischer Untersuchungen	146
3.2.	Mögliche Ursachen der geringen Anwendungshäufigkeit von Investitionsprogrammplanungsmodellen	157
3.2.1.	Die Vernachlässigung wesentlicher Phasen des Entscheidungsprozesses	157
3.2.2.	Die unzureichende Abbildung der realen Problemstellung	160
3.2.3.	Der Planungsaufwand von Investitionsprogrammplanungsmodellen	167
4.	Heuristische Methoden als Mittel zur Senkung des Planungsaufwandes von Investitionsprogrammplanungsmodellen	173
4.1.	<u>Merkmale heuristischer Methoden</u>	173
4.1.1.	Das Merkmal "Reduktion des Problemlösungsaufwandes"	174
4.1.2.	Das Merkmal "Fehlende Lösungsgarantie und Nichtoptimalität"	176
4.1.3.	Das Merkmal der "Spezifischen Problemorientierung"	177

4.1.4.	Das Merkmal "Unvollständig formulierete Problemstellung"	Seite 181
4.2.	Einsatzmöglichkeiten heuristischer Methoden bei der Konstruktion und Lösung von Entscheidungsmodellen	186
4.2.1.	Die Phasen der Modellentwicklung	186
4.2.2.	Freiheitsgrade der Modellentwicklung	196
4.2.3.	Einsatzmöglichkeiten heuristischer Methoden	205
5.	Heuristische Regeln zur Modellkonstruktion	209
5.1.	<u>Ekkurs: Algorithmische vs. heuristische Ansätze der Modellkonstruktion</u>	209
5.1.1.	Charakterisierung beider Ansätze	209
5.1.2.	Erläuterung des algorithmischen Ansatzes	211
5.2.	Der heuristische Ansatz der Modellkonstruktion	220
5.2.1.	Zielsetzung des heuristischen Ansatzes	220
5.2.2.	Allgemeine heuristische Regeln der Modellkonstruktion	224
5.2.3.	Spezielle heuristische Prinzipien zur Konstruktion von Investitionsprogrammplanungsmodellen	240
5.2.4.	Zusammenfassung der heuristischen Regeln in Ablaufplänen	265
5.2.5.	Beurteilung von Entscheidungsmodellen im heuristischen Konstruktionsprozeß	269
5.2.5.1.	Ablauf der heuristischen Modell-evaluation	269
5.2.5.2.	Kriterien	273
5.2.5.3.	Beurteilungsverfahren	282
5.3.	<u>Beurteilung des heuristischen Ansatzes</u>	293
6.	Heuristische Verfahren zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsmodellen	296
6.1.	Kennzeichen und Arten heuristischer Lösungsverfahren	296
6.2.	Darstellung ausgewählter heuristischer Lösungsverfahren	305

6.2.1.1.	Formal orientierte Verfahren	Seite
6.2.1.1.	Abgrenzung und Einteilung	305
6.2.1.2.	Ein verkürztes Branch-and-Bound Verfahren	310
6.2.1.3.	Direkte Suchverfahren	317
6.2.1.4.	Gradientenverfahren	331
6.2.2.	Materielle orientierte Verfahren	336
6.2.2.1.	Abgrenzung und Einteilung	336
6.2.2.2.	Heuristiken der isolierten Investitionsprogrammplanung	340
6.2.2.2.1.	Alle Projekte beginnen im Startzeitpunkt $t = 0$, finanzieller Engpaß nur in $t = 0$ (Eindimensionales Lorie/Savage Problem)	340
6.2.2.2.2.	Alle Projekte beginnen im Startzeitpunkt $t = 0$, finanzieller Engpaß in mehreren Perioden (Mehrdimensionales Lorie / Sav- vage Problem)	351
6.2.2.2.3.	Alle Projekte beginnen im Startzeitpunkt $t = 0$, explizite Berücksichtigung der Investitionszahlungen aller Perioden im Planungsmodell (Isolierte Investitionsprogrammplanung auf unvollkommenem, unbeschränktem Kapitalmarkt)	367
6.2.2.3.	Heuristiken der simultanen Investitions- und Finanzierungsprogrammplanung	378
6.2.2.3.1.	Alle Investitionen und Finanzierungsmaßnahmen beginnen im Startzeitpunkt $t = 0$; finanzieller Engpaß ebenfalls nur in $t=0$	378
6.2.2.3.2.	Projekte können in allen Perioden des Planungszeitraums beginnen, Beachtung von finanziellen Restriktionen ebenfalls in allen Perioden	379
6.3.	Methodische Grundlagen des Entwurfs heuristischer Lösungsverfahren	385
6.3.1.	Ansatzpunkte und Ziele einer Entwurfsmethodologie	385
6.3.2.	Allgemeine Konzepte zur Konstruktion von heuristischen Programmen	392
6.3.2.1.	Das Konzept des Zustandsraums	392
6.3.2.2.	Das Konzept der Lösungsverbesserung	398
6.3.2.3.	Das Konzept des Methodenverbundes	402

6.3.3.	Spezielle Konzepte zur Konstruktion von heuristischen Lösungsverfahren für Investitionsprogrammplanungsmodelle	Seite
6.3.3.1.	Das Konzept der finanzwirtschaftlichen Vorteilsmastäbe	407
6.3.3.2.	Das Konzept des "endogenen" Zinsfußes	415
6.3.4.	Die Verbindung von allgemeinen und speziellen Konstruktionskonzepten in einer Morphologie	425
6.3.4.1.	Ziele der Morphologie	425
6.3.4.2.	Morphologie von Eröffnungsverfahren	427
6.3.4.2.1.	Die Operator - Anwendungsentscheidung	430
6.3.4.2.2.	Die Operator - Reihenfolgeentscheidung	433
6.3.4.2.3.	Die Operator - Bewertungsentscheidung	435
6.3.4.2.4.	Die Objekt - Ausschlußentscheidung	440
6.3.4.2.5.	Die Objekt - Bewertungsentscheidung	442
6.3.4.2.6.	Die Objekt - Reihenfolgeentscheidung	444
6.3.4.3.	Morphologie von Verbesserungsverfahren	446
6.3.4.3.1.	Die Nachbarschaftsentscheidung	449
6.3.4.3.2.	Die Organisationsentscheidung	449
6.3.5.	Evaluation heuristischer Lösungsverfahren	451
6.3.5.1.	Problemstellung	451
6.3.5.2.	Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Lösungsverfahren	456
6.3.5.2.1.	Qualitätsdimensionen	457
6.3.5.2.2.	Aufbau der Testprobleme	465
6.3.5.2.3.	Wahl eines Referenzverfahrens	468
6.3.5.2.4.	Zusammenfassende Beurteilung der Effizienz heuristischer Lösungsverfahren	471
6.3.5.2.5.	Die statistische Auswertung und die Aussagefähigkeit eines Heuristiktests	475

7.	Die Entwicklung von heuristischen Lösungsverfahren am Beispiel der simultanen Investitions- und Finanzplanung	Seite
7.1.	<u>Problemstellung</u>	479
7.2.	<u>Entscheidungssituation</u>	480
7.3.	<u>Stufen des Entscheidungsprozesses</u>	484
7.4.	Beschreibung der entwickelten Eröffnungsverfahren	497
7.4.1.	<u>Allgemeiner Aufbau</u>	497
7.4.2.	Bewertung der Planelemente und Restlegung der Abarbeitungsreihenfolge	498
7.4.3.	<u>Beschreibung der weiteren Verfahrenselemente</u>	502
7.4.3.1.	Eröffnungsverfahren SPIEL 1	502
7.4.3.2.	Eröffnungsverfahren DEAN 1	509
7.4.3.3.	Eröffnungsverfahren DEAN 2	511
7.4.3.4.	Eröffnungsverfahren SPIEL 2	513
7.4.3.5.	Eröffnungsverfahren SPIEL 3	516
7.5.	Beschreibung der entwickelten Verbesserungsverfahren	526
7.5.1.	<u>Allgemeiner Aufbau</u>	526
7.5.2.	<u>Verbesserungsverfahren ITER 1</u>	529
7.5.3.	<u>Verbesserungsverfahren ITER 2</u>	532
7.6.	Verfahrensevaluation auf der Basis zufällig erzeugter Testprobleme	532
7.6.1.	<u>Vorgehensweise</u>	532
7.6.2.	<u>Beschreibung des Datengenerators</u>	537
7.6.3.	<u>Aufbau der Experimente</u>	541
7.6.4.	<u>Ergebnisse der Verfahrensevaluation</u>	548
7.6.4.1.	Überblick über die Testfelder für die Evaluation der Eröffnungsverfahren	548

7.6.4.2.	Testbereich 1: Alle Projekte beginnen in $t=0$, ein Vorzeichenwechsel der Investitionszahlungsreihen, Kalkulationszinsfuß entspricht dem arithmetischen Mittel aus Soll- und Habenzins	Seite
7.6.4.3.	Testbereich 2: Alle Projekte beginnen in $t=0$, mehrere Vorzeichenwechsel in den Investitionszahlungsreihen, Kalkulationszins entspricht dem arithmetischen Mittel aus Soll- und Habenzins	550
7.6.4.4.	Testbereich 3: Alle Projekte beginnen in $t=0$, ein Vorzeichenwechsel in den Investitionszahlungsreihen, der Kalkulationszins entspricht dem endogenen Zinsfuß der kontinuierlichen Optimallösung	566
7.6.4.5.	Testbereich 4: Die Projekte beginnen während des gesamten Planungszeitraums, ein Vorzeichenwechsel der Investitionszahlungsreihen, Kalkulationszins entspricht dem arithmetischen Mittel aus Soll- und Habenzins	573
7.6.4.6.	Testbereich 5: Die Projekte beginnen während des gesamten Planungszeitraums, der Kalkulationszins entspricht dem endogenen Zinsfuß der kontinuierlichen Optimallösung	579
7.6.4.7.	Ergebnisse der Verfahrensevaluation für die Iterationsverfahren	589
8.	<u>Zusammenfassung und Schlussbetrachtung</u>	592

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS
=====

AI	Angewandte Informatik	JBFA	Journal of Business Finance and Accounting
APF	Ablauf- und Planungsforschung	JFOA	Journal of Financial and Quantitative Analysis
AR	The Accounting Review	JOB	The Journal of Business
BFuP	Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis	JOP	The Journal of Finance
BS	Behavioral Science	KRP	Kostenrechnungspraxis
CMR	California Management Review	MIR	Management International Review
DB	Der Betrieb	MP	Mathematical Programming
DBW	Die Betriebswirtschaft	MS	Management Science
DS	Decision Science	OR	Operations Research
EDV	Elektronische Datenverarbeitung	OR quar- terly	Operational Research Quarterly
EJOR	European Journal of Operational Research	RAIRO	Recherche Operationelle - Operations Research (Revue Francaise d'Automatique, Informatique et de Recherche Operationelle)
FM	Financial Management	SMR	Sloan Management Review
HBR	Harvard Business Review	SZU	Schriften zur Unternehmensführung, hrsg. von H. Jacob
HWB	Handwörterbuch der Betriebswirtschaft hrsg. von E. Grochla und W. Wittmann, 4. Aufl. Stuttgart 1974 - 1976	TEE	The Engineering Economist
HWF	Handwörterbuch der Finanzwirtschaft, hrsg. von H.E. Büschgen, Stuttgart 1976	Wist	Wirtschaftswissenschaftliches Studium
IE	Industrial Engineering	WISU	Das Wirtschaftsstudium
JACM	Journal of the Association for Computing Machinery	ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
JBF	Journal of Business Finance	ZfBf	Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaft- liche Forschung
		ZfHf	Zeitschrift für handelswissenschaftliche For- schung
		ZOR	Zeitschrift für Operations Research

ABBILDUNGSVERZEICHNIS
=====

- | | | | |
|---------|--|---------|---|
| Abb. 1 | Grobstruktur der Arbeit | Abb. 16 | Lösungsverfahren für lineare, gemischt - ganzzahlige Investitionsplanungsprobleme |
| Abb. 2 | Problemkreise der betriebswirtschaftlichen Investitionsplanung | Abb. 17 | Flußdiagramm des Lösungsprozesses von Schnittbenenverfahren für (gemischt-) ganzzahlige Optimierungsprobleme |
| Abb. 3 | Entscheidungsfelder bei der Planung von Einzelinvestitionen und bei der Planung von Investitionsprogrammen | Abb. 18 | Flußdiagramm des Lösungsprozesses eines Branch-and-bound-Verfahrens für ein gemischt - ganzzahliges Optimierungsproblem |
| Abb. 4 | Phasen des Planungs- und Entscheidungsprozesses | Abb. 19 | Typen suboptimaler Lösungsverfahren |
| Abb. 5 | Handlungsmöglichkeiten der Investitionsprogrammplanung | Abb. 20 | Überblick über die Merkmale von heuristischen Methoden |
| Abb. 6 | Entscheidungs- und Risikomatrix der Investitionsprogrammplanung bei Unsicherheit (schematisch) | Abb. 21 | Die Arten heuristischer Methoden |
| Abb. 7 | Handlungskonsequenzen in der Investitionsprogrammplanung | Abb. 22 | Ablauf des Planungs- und Entscheidungsprozesses bei Verwendung von Planungsmodellen |
| Abb. 8 | Zielsysteme der Investitionsprogrammplanung und einsetzbare Typen von Entscheidungsmodellen | Abb. 23 | Klassifizierung von Entscheidungsmodellen nach dem Grad der Lösungsschwierigkeit |
| Abb. 9 | Zielarten in der Investitionsprogrammplanung | Abb. 24 | Die Freiheitsgrade der Modellstruktur |
| Abb. 10 | Restriktionen und Systembeziehungen in der Investitionsprogrammplanung | Abb. 25 | Die Freiheitsgrade der Datenstruktur |
| Abb. 11 | Komponenten des Planungszeitraums nach Bitz | Abb. 26 | Die Freiheitsgrade der Modelltechnologie |
| Abb. 12 | Strukturierung von Investitionsprogrammplanungsmodellen nach den Aspekten des Planungszeitraums | Abb. 27 | Einsatzmöglichkeiten heuristischer Methoden bei der Modellentwicklung |
| Abb. 13 | Morphologischer Kasten für Modelle zur Planung von Investitionsprogrammen | Abb. 28 | Anzahl der möglichen Kombinationen bei 7 Zielsetzungen des Investors und jeweils 4 Freiheitsgraden der Modellabbildung |
| Abb. 14 | Aufbau des Investitionsprogrammplanungsmodells aus Teilmodellen | Abb. 29 | Mögliche Formen der Zerlegung von Entscheidungsmodellen in Teilmodelle |
| Abb. 15 | Grobes Schema des Produktionsprozesses der betrachteten Unternehmung | Abb. 30 | Möglichkeiten zur Vereinfachung der Modellstruktur |
| | | Abb. 31 | Möglichkeiten zur Vereinfachung der Datenqualität |

- Abb. 32 Schema der Lösung eines Investitionsprogrammplanungsproblems durch Kombination der Risikosimulation mit einem deterministischen Optimierungsmodell und einer heuristischen Auswahlregel
- Abb. 33 Zusammenfassung der heuristischen Regeln zur Modellkonstruktion in einem Ablaufplan
- Abb. 34 Schema des kombinierten Konstruktions- und Beurteilungsprozesses
- Abb. 35 Entwicklungspotential einer Modell - Entwicklungslinie im Bewertungsprofil (schematisch)
- Abb. 36 Nutzwertanalyse zur Beurteilung eines Entscheidungsmodells (exemplarisch mit willkürlich gewählten Gewichten)
- Abb. 37 Klassifizierung von Lösungsverfahren
- Abb. 38 Heuristische Verfahren zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsproblemen
- Abb. 39 Grobklassifikation heuristischer Eröffnungsverfahren und Verdeutlichung der Verfahrenseigenschaften an exemplarischen Entscheidungsbäumen
- Abb. 40 Flußdiagramm des "verkürzten" Entscheidungsbaumverfahrens von Suhl
- Abb. 41 Rechengang des "verkürzten" Entscheidungsbaumverfahrens von Suhl, dargestellt an einem einfachen Beispiel des Lorie/ Savage - Typs
- Abb. 42 Die Heuristik von Knochenberger / Mc Carl / Wyman
- Abb. 43 Problemkreise der Investitionsprogrammplanung und materiell - orientierte Heuristiken
- Abb. 44 Flußdiagramm für ein einfaches Prioritätsregelverfahren für das eindimensionale Lorie/Savage Problem

- Abb. 45 Flußdiagramm eines einfachen Iterationsverfahrens für das eindimensionale Lorie/ Savage Problem
- Abb. 46 Flußdiagramm der Heuristik von Beenhaker
- Abb. 47 Flußdiagramm der modifizierten Lorie/ Savage Heuristik
- Abb. 48 Das Iterationsverfahren von Petersen
- Abb. 49 Flußdiagramm der Regel 1 von Kruschwitz
- Abb. 50 Flußdiagramm der Regel 3 von Kruschwitz
- Abb. 51 Flußdiagramm des Näherungsverfahrens von Hellwig
- Abb. 52 Bestandteile einer Entwurfsmethodologie für heuristische Lösungsverfahren
- Abb. 53 Schematische Darstellung eines Entscheidungsbaums
- Abb. 54 Morphologischer Kasten des Zustandsraumkonzepts
- Abb. 55 Morphologischer Kasten des Verbesserungskonzepts
- Abb. 56 Möglichkeiten des Methodenverbunds
- Abb. 57 Einteilung der finanzwirtschaftlichen Vorteilskriterien
- Abb. 58 Ausgewählte dynamische Vorteilskriterien zur Beurteilung von Investitionsprojekten
- Abb. 59 Morphologischer Kasten der Entscheidungen bei der Problemvorbereitung
- Abb. 60 Morphologischer Kasten der Operator - Anwendungsentscheidung
- Abb. 61 Morphologischer Kasten der Operator - Reihenfolgeentscheidung
- Abb. 62 Morphologischer Kasten der Operator - Bewertungsentscheidung

- Abb. 63 Gestalt des Entscheidungsbaums bei verschiedenen starker heuristischer Selektion und gleichem Ressourcen-vorrat
- Abb. 64 Morphologischer Kasten der Objekt - Ausschlußentscheidung
- Abb. 65 Morphologischer Kasten der Objekt - Bewertungsentscheidung
- Abb. 66 Morphologischer Kasten der Objekt - Reihenfolgeentscheidung
- Abb. 67 Morphologischer Kasten der Nachbarschaftsentscheidung
- Abb. 68 Mögliche Vorgehensweisen zur Ableitung eines oberen und eines realistischen Vergleichswertes für den Zielfunktionswert bei der Heuristikevaluation
- Abb. 69 Schiefe Verteilung der prozentualen Zielfunktionsabweichung (schematisch)
- Abb. 70 Ablauf des Heuristikentwurfs nach Müller-Werbach
- Abb. 71 Ablauf des Heuristikentwurfs
- Abb. 72 Interaktiver Ablauf des Konstruktions- und Evaluationsprozesses
- Abb. 73 System der allgemeinen Rechenregeln von Kruschwitz für den Fall $s_t > h_t$ für alle Planperioden t
- Abb. 74 Ablauf des Eröffnungsverfahrens SPIEL 1
- Abb. 75 Flußdiagramm des Eröffnungsverfahrens SPIEL 2
- Abb. 76 Abhängigkeit der Lösungsgüte von SPIEL 3 von der Anzahl der betrachteten Planperioden
- Abb. 77 Flußdiagramm des Eröffnungsverfahrens SPIEL 3
- Abb. 78 Flußdiagramm des Verbesserungsverfahren ITER 1
- Abb. 79 Flußdiagramm des Verbesserungsverfahren ITER 2
- Abb. 80 Ablauf des Heuristiktests

- Abb. 81 Mittlere prozentuale Abweichung im Testbereich 1 bei 5% Zinsdifferenz
- Abb. 82 Mittlere prozentuale Abweichung von SPIEL 1 mit dem Vorteilskriterium BKW bei alternativen Zinsdifferenzen und Liquiditätsengpässen
- Abb. 83 Klassifizierte prozentuale Abweichungen von der Optimallösung der Eröffnungsverfahren
- Abb. 84 Ablauf des Heuristiktests bei Verwendung der, aus den Dualwerten der Optimallösung abgeleiteten "endogenen" Kalkulationzinsfüße

TABELLENVERZEICHNIS
=====

Tab. 1	Die Leistungsfähigkeit von Programmsystemen zur gemischt - ganzzahligen Optimierung.	Tab. 16	Exogene Testparameter und mögliche sowie untersuchte Ausprägungen.
Tab. 2	Ausgewertete empirische Untersuchungen über den Investitionsplanungsprozess und die dabei verwendeten Entscheidungstechniken in Unternehmen.	Tab. 17	Erzeugungsregeln des Testdatengenerators
Tab. 3	Prozentsatz der Unternehmen in den USA, die bei der Investitionsplanung Finanzierungsengpässe berücksichtigen.	Tab. 18	Exemplarische Zahlungsreihen von 20 Investitionen und 10 Krediten.
Tab. 4	Verwendungshäufigkeit von Optimierungs- und Simulationmethoden in der Investitionsplanung.	Tab. 19	Bei der Verfahrensevaluation verwendete Zeitmaßstäbe.
Tab. 5	Formale Klassifizierung ganzzahliger linearer Investitionsprogrammplanungsmodelle nach Datenstrukturen.	Tab. 20	Kennzeichen der verwendeten Rechenanlage
Tab. 6	Lösungsgüte und Rechenzeiten der Heuristiken von Petersen.	Tab. 21	Untersuchte Ausprägungen der Testparameter im Testbereich 1
Tab. 7	Spielregeln der Investitionstheorie für die Aufnahme- regel 1 von Kruschwitz.	Tab. 22	Klassifizierte prozentuale Abweichungen von der Optimallösung für ausgewählte Testfelder bei zwei Verzinsungskriterien im Testbereich 1.
Tab. 8	Testergebnisse von Kruschwitz - Mittlere prozentuale Abweichung von der Optimallösung.	Tab. 23	Eröffnungsverfahren DEAN 1 in Kombination mit dem Internen zinsfuß im Vergleich zu den anderen Heuristiken bei alternativen Zinsdifferenzen.
Tab. 9	Mögliche Maßgrößen für den Allgemeinheitegrad	Tab. 24	Mittelwerte und Varianzen der prozentualen Abweichung von der Optimallösung bei ausgewählten Vorteilskriterien im Testbereich 1.
Tab. 10	Mögliche Maßgrößen für die Lösungsqualität	Tab. 25	Durchschnittliche prozentuale Abweichungen des Kapitalwerts im Vergleich zur Kapitalwerttrate und zur Kapitalwertrentabilität.
Tab. 11	Mögliche Maßgrößen für die Lösungswahrscheinlichkeit	Tab. 26	Durchschnittliche prozentuale Abweichungen der Average Return Rate im Vergleich zur statischen Rentabilität bei alternativen Zinsdifferenzen.
Tab. 12	Mögliche Maßgrößen für den Ressourcenbedarf	Tab. 27	Ergebnisse des Wilcoxon - Rangsummentests in Bezug auf die finanziellen Vorteilskriterien im Testbereich 1
Tab. 13	Berechnungsformeln für die verwendeten finanziellen Vorteilskriterien.	Tab. 28	Repräsentative Rechenzeiten im Testbereich 1
Tab. 14	Vergleichswerte für finanzielle Vorteilskriterien.		
Tab. 15	Prozentuale Abweichung vom Optimum für SPIEL 3 bei alternativer Berechnung der Engpaßperiode		

- Tab. 29 Durchschnittliche Lösungsabweichung der Eröffnungsverfahren in Kombination mit der Average Return Rate bei alternativer Anzahl von Vorzeichenwechseln.
- Tab. 30 Vergleich der durchschnittlichen Lösungsabweichung von Kritischem Sollzinsfuß und "maximalem" Interne- nen Zins bei zwei und drei Vorzeichenwechseln.
- Tab. 31 Durchschnittliche prozentuale Abweichungen von Average Return Rate und den drei untersuchten Konzepten des Internen Zinsfußes bei alternativen Vorzeichenwechseln.
- Tab. 32 Klassifizierte prozentuale Abweichungen von der Optimallösung bei einem und drei Vorzeichenwechseln für ausgewählte Vorteilskriterien.
- Tab. 33 Klassifizierte prozentuale Lösungsabweichungen der Vorteilskriterien, die die Eigenschaften des endogenen Zinsfußes ausnutzen, im Testbereich 3 bei alternativen Planungszeiträumen T.
- Tab. 34 Häufigkeitsverteilungen der prozentualen Abweichungen im Testbereich 4.
- Tab. 35 Testfelder im Testbereich 4
- Tab. 36 Mittlere prozentuale Lösungsabweichung des DEAN - Eröffnungsverfahrens im Testbereich 4.
- Tab. 37 Vergleich der durchschnittlichen Lösungsabweichung der Initialverzinsung mit dem Internen Zinsfuß und der Average Return Rate im Testbereich 1 und 4.
- Tab. 38 Mittlere prozentuale Lösungsabweichung der Statischen Rentabilität im Vergleich zum jeweils besten dynamischen Kriterium.
- Tab. 39 Repräsentative Rechenzeiten im Testbereich 4

- Tab. 40 Durchschnittliche prozentuale Abweichungen von der Optimallösung im Testbereich 5
- Tab. 41 Vollständige Häufigkeitsverteilung des jeweils besten Rangordnungskriteriums mit dem jeweiligen Eröffnungsverfahren.
- Tab. 42 Mittlere prozentuale Lösungsabweichung von SPIEL 1 im Vergleich zu ITER 1 und ITER 2.
- Tab. 43 Mittlere prozentuale Abweichungen von der Optimallösung von SPIEL 1 in Verbindung mit ITER 1 und ITER 2 im Vergleich zu den Vorausschauregelverfahren SPIEL 2 und SPIEL 3.
- Tab. 44 Rechenzeiten der Iterationsverfahren im Vergleich zu den Eröffnungsverfahren.

1. Einleitung

1.1 Problemlage

In der Betriebswirtschaftslehre hat sich in den letzten Jahrzehnten zunehmend der entscheidungsorientierte Ansatz durchgesetzt. "Entscheidungsorientiert nennt sich dieser Ansatz, weil in erster Linie die den ausführenden Tätigkeiten vorgelagerten Prozesse des Auswählens oder Entscheidens das Erkenntnisobjekt der Betriebswirtschaftslehre bilden."¹⁾ Dabei wurden zunehmend Erkenntnisse der Mathematik und der Entscheidungstheorie in die Betriebswirtschaftslehre einbezogen. Diese Tatsache manifestiert sich beispielsweise in der Entwicklung einer speziellen Wissenschaftsdisziplin, der Unternehmensforschung (Operations Research).

Auch in den einzelnen Teildisziplinen der Betriebswirtschaftslehre wurde zunehmend versucht, Entscheidungsprobleme in mathematischer Form abzubilden. Exemplarisch dafür ist die Entwicklung der Investitionstheorie. Dieser Prozeß begann mit der Nutzung finanzmathematischer Erkenntnisse beim Aufbau dynamischer Verfahren zur Beurteilung von Einzelinvestitionen. Schon der in den dreißiger Jahren entwickelte Interne Zinsfuß²⁾ läßt sich ohne kom-

1) Helmen, E.; Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre, in: derselbe (Hrsg.); Industriebetriebslehre - Entscheidungen im Industriebetrieb, 5. Aufl. Wiesbaden 1976, S. 25-77, hier S. 25

2) Vgl. Boulding, K.E.: Time and Investment, in: Economic, New Series III (1936), S. 196-214, wiederabgedruckt in: Läder, K. (Hrsg.); Investitionsplanung, München 1977, S. 21-34. Zur Entwicklungsschichte des Internen Zinsfußes vgl. auch Biergans, E.; Kritische Bemerkungen zur Kritik am Internen Zinsfuß, in: ERup 25. Jg. (1973), S. 241-261

plexe mathematische Verfahren nur bei vereinfachenden Prämissen über die Zahlungsreihe der zu beurteilenden Investition exakt ermittelbar.

Zur Planung von Investitionsprogrammen wurden zunächst die dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung modifiziert, ¹⁾ Mitte der fünfziger Jahre dann aber auch die Methoden des Operations Research verwendet. Diese Planungsmethoden bieten die Möglichkeit, die Interdependenzen der Investitionsalternativen untereinander und zu anderen Planungsbereichen der Unternehmung zu berücksichtigen. Es entstanden zunächst Modelle zur simultanen Planung des Investitions- und Finanzierungsprogramms ²⁾ und zur simultanen Investitions- und Produktionsprogrammplanung. ³⁾

- 1) Vgl. Dean, J.: *Capital Budgeting*, 1st printing New York/London 1951 - Lutz, F.A./Lutz, V.: *The Theory of Investment of the Firm*, Princeton 1951 - Lorie, J.H./Savage, L.J.: *Three Problems in Rationing Capital*, in: *JOB*, Vol. 28 (1955), S. 229-239
 - 2) Vgl. Charnes, A./Cooper, W.W./Miller, M.H.: *Application of Linear Programming to Financial Budgeting and the Costing of Funds*, in: *JOB*, Vol. 32 (1959), S. 20-64 - Ijiri, Y./Levy, F.K./Lyon, R.C.: *A Linear Programming Model for Budgeting and Financial Planning*, in: *The Journal of Accounting Research*, Vol. 1 (1963), S. 198-212 - Albach, H.: *Investition und Liquidität - Die Planung des optimalen Investitionsprogramms*, Wiesbaden 1962 - Meinertner, H.M.: *Mathematische Programmierung and the Analysis of Capital Budgeting Problems*, Englewood Cliffs 1963 - Hax, H.: *Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung*, in: *ZfF*, 16. Jg. (1964), S. 430-446
 - 3) Vgl. Förstner, K./Henn, R.: *Dynamische Produktions-Theorie und Lineare Programmierung*, Weisenheim/Glan 1957, S. 119 ff. - Jacob, H.: *Neuere Entwicklungen der Investitionsrechnung*, in: *ZfB* 34. Jg. (1964), S. 487-507 und S. 551-594; wiederabgedruckt in: *derselbe*: *Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Lineareprogrammierung*, 2. Aufl. Wiesbaden 1971, S. 9-72
- Vgl. auch Seelbach, H.: *Planungsmodelle in der Investitionsrechnung*, Würzburg-Wien 1967, der einen guten Überblick über die angesprochenen Planungsmodelle gibt.

Beide Ansätze wurden wenig später miteinander verbunden und näherten sich mit der Einbeziehung der Absatz-, Beschaffungs- und Steuerplanung einem Totalmodell der Unternehmung. ¹⁾

Alle diese Modelle sind ohne Nutzung von Erkenntnissen des Operations Research weder zu formulieren noch zu lösen. Dies gilt im Grundsatz auch für die Mehrzahl der von der Investitionstheorie entwickelten Ansätze zur Investitionsplanung bei unsicheren Erwartungen. ²⁾

Die dominante Rolle, die die mathematischen Verfahren der Unternehmensforschung in der Investitionstheorie spielen, zeigt sich auch in den neueren Lehrbüchern zur Investitionsrechnung. Während etwa das 1951 ersiehende Buch von Erich Schneider ³⁾ noch mit Kenntnissen der Zinsseszins- und Differentialrechnung verständlich war, setzen die neueren Werke ⁴⁾ fast alle Kenntnisse ⁵⁾ äußerst komplexer

- 1) Vgl. etwa Rosenberg, O.: *Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Gesamtplanung*, Köln etc. 1975
- 2) Vgl. den Überblick bei Bladm, H./Lüder, K.: *Investition - Schwachstellen im Investitionsbereich des Industriebetriebs und Wege zu ihrer Beseitigung*, 4. Aufl. München 1978, S. 187-219 und S. 255-269 und bei Kruschwitz, L.: *Investitionsrechnung*, Berlin/New York 1978, S. 217 ff.
- 3) Schneider, E.: *Wirtschaftlichkeitsrechnung, - Theorie der Investition*, 8. Aufl. Tübingen/Würich 1973 (1. Aufl. Tübingen 1951)
- 4) Vgl. etwa Bladm, H./Lüder, K.: *Investition*, a.a.O., - Hax, H.: *Investitionstheorie*, 4. Aufl. Würzburg/Wien 1979 - Kruschwitz, L.: *Investitionsrechnung*, a.a.O.
- 5) Dies gilt nur z.T. für Schneider, D.: *Investition und Finanzierung - Lehrbuch der Investitions-, Finanzierungs- und Umgewaltungstheorie*, 4. Aufl. Opladen 1975

mathematischer Lösungstechniken voraus. ¹⁾

"Das Bemühen der Betriebswirtschaftslehre ist letztlich darauf gerichtet, Mittel und Wege aufzuzeigen, die zur Verbesserung der Entscheidungen in der Betriebswirtschaft führen." "Dieses Bestreben gipfelt in der Entwicklung von Entscheidungsmodellen zur Ableitung 'optimaler' oder befriedigender Lösungen." ²⁾ Obwohl somit die Entwicklung mathematischer Entscheidungsmodelle der Investitionsplanung von dem Bestreben geleitet war, methodische Hilfen zur Bewältigung konkreter betriebswirtschaftlicher Problemstellungen zu bieten, sind diese Modelle von der betrieblichen Praxis mit wenigen Ausnahmen nicht für die Investitionsplanung übernommen worden. ³⁾

Die Ursachen dafür liegen in der Vernachlässigung oder Überschätzung der technologischen und ökonomischen Machbarkeit dieser Entscheidungsmodelle, die die hohen Anforderungen dieser Ansätze an Datengewinnung, Lösungsverfahren

1) Hierzu gehören neben der Simulationstechnik die Lineare Optimierung sowie Verfahren zur gemischt-ganzzahligen und nichtlinearen Optimierung. Der Entwicklungsstand von Algorithmen für die beiden letztgenannten Problemlassen ist heute (vor dem Hintergrund der konzipierten Entscheidungsmodelle) noch gering.

2) Heinen, E.; Wissenschaftsprogramm der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, in: derselbe; Grundrissen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, München 1976, S. 363 bis 393, hier S. 369 - Zur Kontroverse um das Ziel einer angewandten Wissenschaft vgl. Raffée, H.; Grundprobleme der Betriebswirtschaftslehre, Göttingen 1974, S. 64 ff. und die dort angegebene Literatur

3) Vgl. Lüder, K.; Zur Investitionsplanung und Investitionsrechnung in der betrieblichen Praxis, in: WiSt 5. Jg. (1976), S. 509-514

ren und Computertechnologie unbeachtet ließ. ¹⁾ Die optimistische Erwartung, daß der Datengewinnungsaufwand im Rahmen der Entwicklung von integrierter Management-Informationssystemen, der Rechenaufwand durch die Entwicklung leistungsfähiger Algorithmen und Datenverarbeitungsanlagen auf ein vertretbares Maß gesenkt werde, hat sich bis heute nicht bewährt. ²⁾ Die auf diesen Gebieten zu verzeichnenden Fortschritte sind zwar beachtlich, aus der Sicht der Praxis offenbar jedoch für eine Anwendung komplexer Investitionsplanungsmodelle nicht ausreichend. "Ansätze der simulativen Programmplanung werden nur selten angewendet. Hier erscheint die Entwicklung computerunterstützter heuristischer Verfahren der Programmplanung von größerer Bedeutung zu sein." ³⁾ Diese Forderung zielt darauf ab, die aus den richtungsweisenden Modellen gewonnenen theoretischen Erkenntnisse der Praxis mit entsprechend vereinfachten Planungsmethoden zugänglich zu machen. Erst dann, wenn die von ihr entworfenen Entscheidungsmodelle und Lösungsverfahren den technologischen und ökonomischen Voraussetzungen der Praxis genügen, wird die Be-

1) Vgl. dazu Kilger, W.; Optimale Produktions- und Absatzplanung - Entscheidungsmodelle für den Produktions- und Absatzbereich industrieller Betriebe. Opladen 1973, S. 10 und Miller-Merbach, H.; Operations Research - Methoden und Modelle der Optimalplanung, 3. Aufl. München 1973, S. 366 f. Vgl. auch derselbe; Quantitative Entscheidungsvorbereitung - Erwartungen, Enttäuschungen, Chancen, in: DW 37. Jg. (1977), S. 11-23

2) Vgl. z.B. Jacob, H.; Investitionsplanung mit Hilfe der Optimierungstechnik, in: SZU Bd. 4 (1968), S. 93-115

3) Lüder, K.; Zur Investitionsplanung und Investitionsrechnung in der betrieblichen Praxis, a.a.O., S. 509

triebswirtschaftslehre ihrer Gestaltungsfunktion gerecht. ¹⁾

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, heuristische Verfahren zur Konstruktion und Lösung von Investitionsplanungsmodellen zu entwickeln, um die Voraussetzungen für eine praktische Nutzung dieser Planungsverfahren zu verbessern. "... the terms 'heuristic' and 'heuristic method' are used to describe each rule of thumb, strategy, trick, simplification or any other means, that may reduce the effort in the search for solutions of complex problems by the elimination of possible but less interesting solution alternatives and thus may lead to useful solutions that are usually non-optimal." ²⁾ Ziel heuristischer Verfahren ist somit die Reduzierung des Problemlösungsaufwandes. Dabei wird in Kauf genommen, daß die Verfahren statt einer optimalen nur eine gute Lösung des Problems ermitteln. ³⁾

Insbesondere zwei Wissenschaftsdisziplinen haben sich bisher mit der Entwicklung heuristischer Problemlösungsverfahren beschäftigt. Die 'Artificial Intelligence', ein Teilgebiet der Informatik, versucht, menschliches Problemlösungsverhalten in heuristischen Regeln zu erfassen und daraus verhaltenswissenschaftlich fundierte, intelligente Computerprogramme zur Lösung schlecht-strukturierter Pro-

- 1) Vgl. zum Begriff Heinen, E.: Wissenschaftsprogramm der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 369
- 2) Herroelen, W.S.: Heuristic Programming in Operations Management, in: Die Unternehmens 26. Jg. (1972), S. 213-231, hier S. 213 f.
- 3) Vgl. zu einer genauen Definition Abschnitt 4

bleme zu entwickeln. ¹⁾ Demgegenüber befaßt sich das Operations Research mit heuristischen Verfahren zur Lösung von mathematischen Optimierungsproblemen, die sich aufgrund ihrer Größe oder Struktur von Algorithmen nicht oder nicht mit vertretbarem Aufwand lösen lassen. ²⁾ Während die erste Forschungsrichtung sich vor allem mit spieltheoretischen Problemen (z.B. Schachprogrammen) beschäftigt, ³⁾ stehen im Mittelpunkt der Bemühungen des Operations Research formal-mathematisch gut definierte Probleme wie etwa Reihenfolge- und Zuordnungsprobleme. ⁴⁾ Bestrebungen, Heuristiken direkt für betriebswirtschaftliche Anwendungsprobleme zu entwickeln, sind demgegenüber recht selten. ⁵⁾

- 1) Vgl. für viele Newell, A.; Heuristic Programming: Ill-structured Problems, in: Aronofsky, J. (Hrsg.): Progress in Operations Research Vol. 3, New York 1969, S. 363-414 und Newell, A./Simon, H.A.: GPS: A Program that simulates Human Thought, in: Feigenbaum, E.A./Feldman, J. (Hrsg.), Computer and Thought, New York etc. 1963, S. 279-296
- 2) Vgl. Müller-Werbach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 290 ff.
- 3) Vgl. etwa Slagle, J.R.; Einführung in die heuristische Programmierung - Künstliche Intelligenz und intelligente Maschinen, München 1972
- 4) Vgl. Müller-Werbach, H.; Modelling Techniques and Heuristics for Combinatorial Problems, in: Roy, B. (Hrsg.): Combinatorial Programming - Methods and Applications, Dordrecht 1975, S. 1-27
- 5) Eine Ausnahme bilden beispielsweise Standortplanungsprobleme. Vgl. Kuehn, A.A./Hamburger, M.J.: A heuristic program for locating warehouse, in: MS Vol. 9 (1963), S. 643-666. Vgl. auch Hansmann, K.-W.: Entscheidungsmodelle zur Standortplanung, Diss. Hamburg 1972, S. 168 ff.

Zur Lösung von Investitionsplanungsmodellen wurden heuristische Verfahren etwa von Herroelen, ¹⁾ Petersen ²⁾ und Kruschwitz ³⁾ verwendet. Zwar wurden dabei nur vergleichsweise einfache Problemstrukturen betrachtet, doch erscheint aufgrund der erzielten Ergebnisse eine Anwendung heuristischer Verfahren auf komplexere Investitionsplanungsprobleme vielversprechend.

Die praktischen Schwierigkeiten bei der Nutzung komplexer Planungsverfahren liegen aber nicht nur in der Lösung bereits formulierter Entscheidungsmodelle, sondern auch in der Konstruktion eines, die reale Entscheidungssituation homomorph abbildenden Modells ⁴⁾ und in der Verzorgung dieses Kalküls mit relevanten Daten. ⁵⁾ "Eine ökonomische Frage ist erst dann beantwortet, wenn die Modellbedingungen den wesentlichen Daten in der Wirklichkeit entsprechen, d.h. wenn die Zielvorschrift im Modell sich mit den Motiven des Entscheidenden deckt, wenn die Umweltbedingungen die Verhältnisse in der Unternehmung und auf den Märkten wiedergeben und wenn die Definitionen des Ziels und der Umweltbedingungen so gewählt werden, daß sie mit den Zahlen aus dem betrieblichen Rechnungswesen belegt werden können." ⁶⁾

- 1) Herroelen, W.; heuristische programme - methodologische benadering en praktische toepassing op complexe combinatorische problemen, Diss. Leuven 1972, S. 83-127
- 2) Petersen, C.C.; A Capital Budgeting Heuristic Using Exchange Operations, in: AIEE Transactions, Vol. 6 (1974), S. 143-150
- 3) Kruschwitz, L.; Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, in: ZfB 47. Jg. (1977), S. 209-224
- 4) Zum Begriff vgl. Kirsch, W.; Entscheidungsprozesse II: Informationsverarbeitungsstheorie des Entscheidungsverhaltens, Wiesbaden 1971, S. 34 und Zentes, J.; Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen - Ein Beitrag zur betriebswirtschaftlichen Meta-Entscheidungstheorie, Diss. Saarbrücken 1975, S. 33 f.
- 5) Vgl. Kilger, W.; Optimale Produktions- und Absatzplanung - Entscheidungsmodelle für den Produktions- und Absatzbereich industrieller Betriebe, Opladen 1973, S. 9 ff.
- 6) Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 40

Die Gebiete der Modellkonstruktion und Datengewinnung werden bisher in der Betriebswirtschaftslehre weitgehend vernachlässigt. ¹⁾ Speziell für den ersten Problembereich sollen in der vorliegenden Arbeit heuristische Regeln abgeleitet werden, die bei der Entwicklung von Investitionsprogrammplanungsmodellen hilfreich sein können.

Eine wissenschaftliche Empfehlung von Planungsverfahren, die unter Umständen nur suboptimale Lösungen für ein Entscheidungsproblem liefern, sollte immer mit Aussagen über die voraussichtliche Güte des Verfahrens verbunden sein. Für den Entscheidungsträger ist dabei insbesondere von Interesse, welche Zieleinbuße er für welche Minderung des Planungsaufwandes in Kauf zu nehmen hat. Bei der Evaluation heuristischer Verfahren treten eine Reihe methodischer Schwierigkeiten auf, die in der Literatur zur heuristischen Problemlösung bisher weitgehend vernachlässigt wurden. ²⁾ Die Entwicklung von Methoden zur Verfahrensevaluation ist daher ein weiterer Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchung.

Die drei Problembereiche:

- Entwurf von heuristischen Regeln für die Modellkonstruktion;
- Entwicklung von heuristischen Verfahren zur Modelllösung und
- Evaluation der heuristischen Lösungsverfahren

- 1) Vgl. Müller-Merbach, H.; Quantitative Entscheidungsvorbereitung, a.a.O.
- 2) Zur Behandlung dieses Problembereiches vgl. Pfohl, H.C./Hebel, R.; Bewertung heuristischer Methoden; Unveröffentlichtes Manuskript Bessen 1979 und Fischer, J./Kruschwitz, L.; Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Lösungsverfahren, Diskussionspapier 52 des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Berlin 1979

sind Gegenstand dieser Arbeit. Sie werden vor dem Hintergrund der Investitionsprogrammplanung bei Sicherheit diskutiert. Bei der Erörterung der theoretischen Grundlagen der heuristischen Planungsmethodik mußte jedoch notwendigerweise der enge Bereich der Investitionsplanung übersritten werden.

1.2 Gang der Untersuchung

Nach den einleitenden Bemerkungen in Abschnitt 1 wird in Kapitel 2 die Problemstellung der Investitionsprogrammplanung charakterisiert. Dabei wird darauf verzichtet, die Vielzahl der in der Literatur seit Mitte der fünfziger Jahre entwickelten Ansätze detailliert aufzuarbeiten, da inzwischen eine Reihe sehr guter Übersichtsarbeiten existieren.¹⁾ Stattdessen wird die Aufgabe von Entscheidungsmodellen im Investitionsplanungsprozeß gekennzeichnet und es werden die Alternativen beschrieben, die bei der Abbildung der Handlungsmöglichkeiten, Zielvorstellungen und Umweltbedingungen sowie des Planungszeitraums des Investors im Planungskalkül bestehen. Zum Abschluß dieses Teils werden die mathematischen Verfahren charakterisiert, die sich zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsmodellen mit der Prämisse sicherer Erwartungen eignen.

¹⁾ Vgl. Seelbach, H.: Planungsmodelle in der Investitionsrechnung, Witzburg/Wien 1967 und Schweim, J.: Integrierte Unternehmensplanung, Bielefeld 1969 sowie Blumentrath, U.: Investitions- und Finanzplanung mit dem Ziel der Endwertmaximierung, Wiesbaden 1969
Vgl. auch die Lehrbücher von Blohm, H./Lüder, K.: Investition, a.a.O., S. 221 ff. und Hax, H.: Investitionstheorie, a.a.O., S. 85 ff.
Vgl. für den angloamerikanischen Raum Brumwich, M.: Capital Budgeting - A Survey, in: JFR Vol. 1 (1970), S. 2-26 sowie Bernhard, R.H.: Mathematical Programming Models for Capital Budgeting - A Survey, Generalization and Critique, in: JFOA, Vol. 4 (1969), S. 111-158

Ziel dieses zweiten Kapitels ist es, die Grundlagen für eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit und der erforderlichen Planungsaufwendungen von Budgetierungsmodellen zu legen.

Im dritten Kapitel werden die zahlreichen empirischen Untersuchungen, die sich mit der Verbreitung von Investitionsplanungsmethoden in der Praxis beschäftigen, hinsichtlich der praktischen Verwendung von Programmplanungsansätzen ausgewertet. Die Anwendungshäufigkeit dieser komplexen Methoden ist gering. Mögliche Gründe dafür werden erörtert. Ein offenbar schwerwiegender Grund sind die im Vergleich zu dem möglichen Planungsnutzen von den Entscheidungssträgern als zu hoch eingeschätzten Aufwendungen, die mit dem Einsatz komplexer Planungsmodelle verbunden sind.

In den folgenden Kapiteln der vorliegenden Arbeit wird geprüft, ob es möglich ist, den Aufwand beim Einsatz von Investitionsprogrammplanungsmodellen durch Verwendung heuristischer Methoden zu senken.

Das vierte Kapitel charakterisiert die heuristischen Methoden und deren grundsätzliche Einsatzmöglichkeiten bei der Entwicklung und Lösung von Entscheidungsmodellen.

Im fünften Teil der Untersuchung wird versucht, heuristische Regeln zur Konstruktion von Investitionsprogrammplanungsmodellen abzuleiten. Während die Ausführungen in diesem Teil auf nur wenige Vorarbeiten zurückgreifen können¹⁾

¹⁾ Vgl. zum Stand der Theorie des Modellentwurfs Miller-Wierbach, H.: Entwurf von Input-Output-Modellen, in: Proceedings of Operations Research 7, Witzburg/Wien 1978, S. 521-532, hier S. 523

und somit mehr Anregungs- als Anleitungscharakter haben, ist die Literatur zur Theorie heuristischer Lösungsverfahren sehr umfangreich.

Dort dargestellte Methoden, soweit sie zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsmodellen geeignet erscheinen, werden zu Beginn des 6. Kapitels gekennzeichnet. Bestimmte formale Problemeigenschaften machen diese Verfahren für eine allgemeine Verwendung in der Investitionsplanung ungeeignet. Auch die im Anschluss beschriebenen Heuristiken, die speziell für Budgetprobleme entwickelt wurden, sind nur in einfachen Entscheidungssituationen anwendbar. Allerdings lassen sich aus beiden Verfahrensrgruppen Konzepte ableiten, die Grundlage einer Entwurfsmethodologie für heuristischen Verfahren zur Lösung von Investitionsplanungsproblemen sein können. ¹⁾ Aufbauend auf der Analyse der existierenden Heuristiken und auf den Erkenntnissen der heuristischen Problemlösungsmethodik wird zum Abschluss dieses 6. Kapitels versucht, methodische Grundlagen für den Entwurf und die Evaluation heuristischer Lösungsverfahren abzuleiten.

Der siebente Teil der Arbeit versucht, diese methodischen Erkenntnisse bei der Entwicklung einer Reihe von Heuristiken zur Lösung eines Problems der simultanen Investitions- und Finanzplanung anzuwenden. ²⁾ Die konstruierten Verfahren werden beschrieben und anhand simulierter Problemstel-

1) Zu den Aufgaben einer Entwurfsmethodologie vgl. Miller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Methoden, in: ZOR Bd. 20 (1976), S. 69 - 87
 2) Die Problemstellung ähnelt der von Hax, H.; Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, in: ZBRF 16, Jg. (1964), S. 430-446

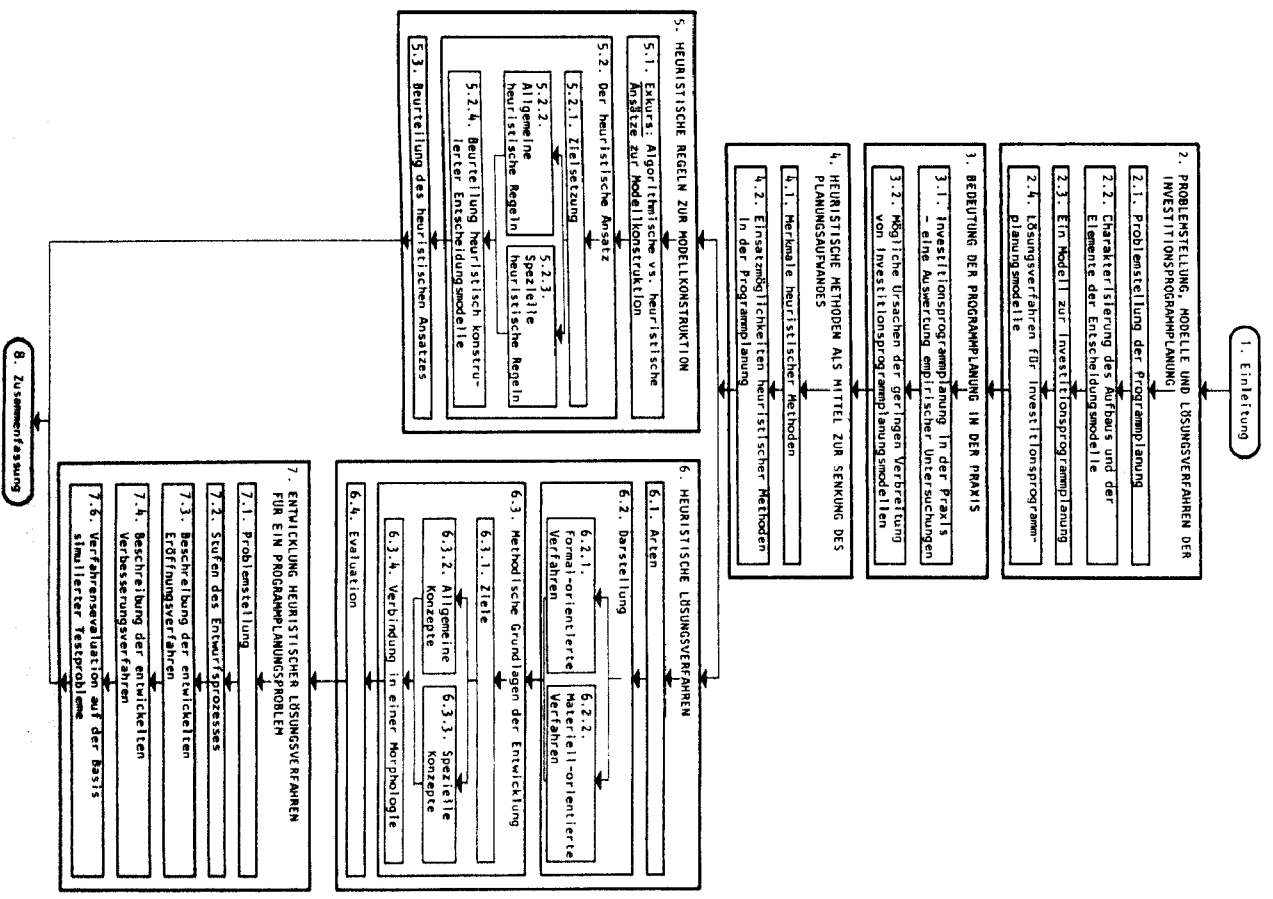


Abb. 1: Grobstruktur der Arbeit

lungen auf ihre Güte überprüft. Den Abschluß dieses Teils bildet der Bericht über diesen Test der verschiedenen Neuristiken und die dabei erzielten Ergebnisse.

In der Schlußbetrachtung wird schließlich induktiv zu beurteilen versucht, inwieweit heuristische Methoden den Planungsaufwand für Investitionsprogrammplanungsmodelle senken können und damit Voraussetzungen für den Einsatz leistungsfähigerer Entscheidungskalküle schaffen.

2. Problemstellung, Modelle und Lösungsverfahren der Investitionsprogrammplanung

2.1 Problemstellung der Programmplanung

2.1.1 Abgrenzung

"Zwei Arten von Investitionsentscheidungen sind zu trennen: Bei Einzelentscheidungen geht es um die Vorteilhaftigkeit einer einzelnen Investition. Bei Programmentscheidungen handelt es sich darum, Art und Anzahl der vorteilhaften Investitionen zu bestimmen, die innerhalb eines Gesamtplans verwirklicht werden sollen."¹⁾

Die Investitionstheorie unterstellt bei der Beurteilung einzelner Projekte üblicherweise, daß²⁾

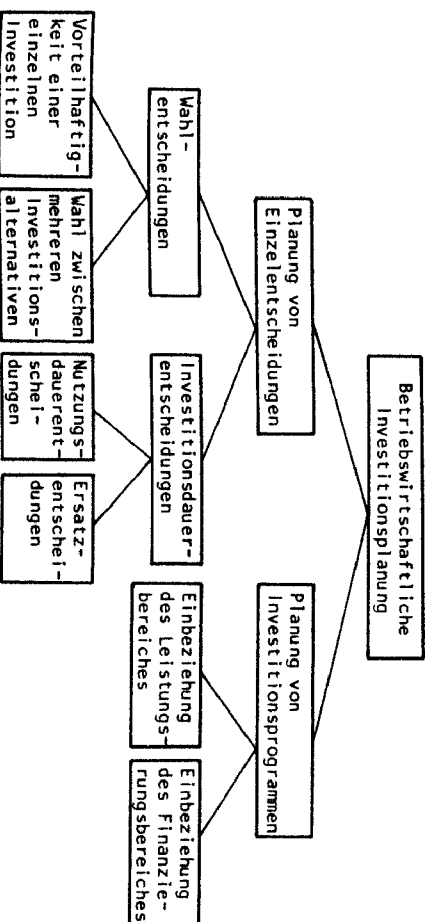


Abb. 2 : Problemkreise der betriebswirtschaftlichen Investitionsplanung

1) Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 197

2) Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 55 ff spricht in diesem Zusammenhang von "Pauschalannahmen über die Welt des Investors."

1. sich die Projekte ausreichend isolieren lassen und sich öfteren Handlungskonsequenzen jeweils eindeutig durch eine Auszahlungs- und eine Einzahlungsreihe charakterisieren lassen.¹⁾
2. der Investor keine finanziellen Grenzen bei der Aufnahme von Krediten und der Anlage von überschüssigen Geldmitteln zu beachten hat, sondern seine Liquidität durch Aktionen auf einem unbeschränkten Kapitalmarkt jederzeit gesichert werden kann.
3. die Sollzinsen für Kredite sowie die Habenzinsen für Finanzanlagen unabhängig von der Menge der aufgenommenen bzw. angelegten Gelder sind.²⁾
4. der Investor allein nach Maximierung einer finanziellen Zielsetzung strebt und weitere, insbesondere leistungswirtschaftliche Nebenziele nicht beachtet.

Programmplanungsmodelle heben in verschiedenen Abstufungen diese "Pauschalannahmen über die Welt des Investors"³⁾ auf. Allen Ansätzen ist gemeinsam, daß im Planungskalkül mehrere Handlungsmöglichkeiten des Investors erfaßt sind, die sich nicht gegenseitig ausschließen und die zielentsprechend zu kombinieren sind.

Während die Verfahren zur Beurteilung einzelner Investitionen durch die Annahme eines unbeschränkten Kapitalmarkts die wechselseitigen Abhängigkeiten der Investitionen durch die gemeinsame Beanspruchung von in der Realität zur begrenzt verfügbaren Finanzmitteln vernachlässigen, berücksichtigen Programmplanungsmodelle diese finanziellen Interdependenzen. Kapitaltheoretische Modelle⁴⁾ berücksichtigen

1) Vgl. Jacob, H.; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O., S. 11 und Bidm, H./Läder, K.; Investition, a.a.O., S. 221

2) Vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, S. 195 f.

3) Zum Begriff vgl. Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 55 ff.

4) Zum Begriff vgl. Kern, W.; Investitionsrechnung, Stuttgart 1974, S. 262 ff.

zudem die finanziellen Handlungsmöglichkeiten des Investors bei der Planung des Investitionsprogramms.

Enge Abhängigkeiten bestehen ebenfalls zwischen dem zu bestimmenden Investitionsprogramm und der produktiven Kombination der Unternehmung. Bei Investitionen im Produktionsbereich ist es in aller Regel nicht möglich, vor Festlegung des Leistungsprogramms und der produktiven Aufgabe eines Aggregats über dessen Günstigkeit zu entscheiden. Umgekehrt ist jedoch auch eine Planung des Produktionsprogramms erst dann möglich, wenn der Betriebsmittelbestand feststeht. Durch eine simultane Planung von Investitions- und Produktionsprogramm umgehen produktions-theoretische Modelle¹⁾ die isolierte Zurechnung von Ein- und Auszahlungsreihe auf die Projekte.²⁾

Die Investitionsprogrammplanung bezieht somit im Gegensatz zu der Beurteilung von Einzelinvestitionen weitere Planungsbereiche der Unternehmung simultan in die Betrachtung mit ein. Über diese Einbeziehung speziell des finanziellen und des leistungswirtschaftlichen Bereichs erreichen Programmplanungsansätze die Berücksichtigung der "zeitlich-horizontalen Interdependenzen"³⁾ zwischen den Investitionsprojekten. Diese wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen den Aktionen eines Programms können sowohl die gemeinsame Inanspruchnahme begrenzt verfügbarer Ressourcen (technolo-

1) Zum Begriff vgl. Kern, W.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 262 ff.

2) Vgl. Jacob, H.; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O., S. 24 ff.

3) Zum Begriff vgl. Jacob, H.; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O., S. 24 ff. und derselbe; Unsicherheit und Flexibilität - Zur Theorie und Planung bei Unsicherheit, in: ZfB, 44. Jg. (1974), S. 299-326, S. 403-448, S. 505-526, hier S. 300 ff.

gische Interdependenzen)¹⁾ wie auch Interaktionen zwischen den Zielwirkungen der Investitionsprojekte (wertmäßige Interdependenzen)¹⁾ betreffen.

"Der Nutzen des zur Diskussion stehenden Investitionsobjektes hängt des weiteren ab von der Entwicklung und künftigen Ausgestaltung der Kombination, in die es eingefügt werden soll."²⁾ Technologische oder wertmäßige Beziehungen zwischen den Aktionen unterschiedlicher Zeitpunkte werden in Anlehnung an Jacob als "zeitlich-vertikale Interdependenzen"³⁾ bezeichnet. Während die klassischen Verfahren zur Beurteilung von einzelnen Investitionen allein die Handlungsmöglichkeiten des Entscheidungszeitpunktes erfassen und die Wirkungen später realisierbarer Aktionen wiederum durch Pauschalnahmen abgebildet werden, können die "zeitlich-vertikalen Interdependenzen" im finanziellen und leistungswirtschaftlichen Bereich in Programmplanungsmodellen sehr detailliert erfaßt werden.

Die Erweiterung des Entscheidungs- und Wirkungsfeldes (vgl. Abb. 3) der Programmplanung im Vergleich zu den Beurteilungsverfahren für einzelne Investitionen drückt sich in der Komplexität des notwendigen Planungsskalküls für Programmentscheidungen aus. Die Planungsmethodik muß zur Lösung des Problems sowohl die notwendigen Informationen über die Ziel- und Ressourcenwirkungen der Handlungs-

- 1) Zum Begriff vgl. Gäfgen, G.; Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, 3. Aufl. Übungen 1974, S. 201-212
- 2) Jacob, H.; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O., S. 26
- 3) Zum Begriff vgl. Jacob, H.; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O., S. 24 ff. und derselbe; Unsicherheit und Flexibilität - Zur Theorie und Planung bei Unsicherheit, in: ZfB, 44. Jg. (1974), S. 299-326, S. 403-448, S. 505-526, hier S. 300 ff.

möglichkeiten und über deren Interdependenzen untereinander erheben (Informationsgewinnung) wie auch die zieloptimale Kombination ermitteln (Informationsverarbeitung). Aufgrund des sehr viel komplexeren Entscheidungsfeldes entstehen im Vergleich zur Planung von Einzelinvestitionen erhebliche informativische und lösungstechnische Schwierigkeiten.¹⁾ Die Investitionstheorie versucht diese durch Differenzierung der Pauschalnahmen in den Einzelentscheidungsverfahren²⁾ und Vereinfachungen der Planungstechniken für Programmentscheidungen zu lösen.³⁾

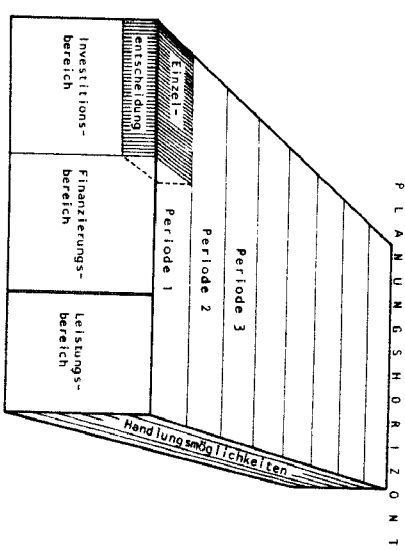


Abb. 3 : Entscheidungsfelder bei der Planung von Einzelinvestitionen und bei der Planung von Investitionsprogrammen

- 1) Vgl. Hax, H.; Bewertungsprobleme bei der Formulierung von Zielfunktionen für Entscheidungsmodelle, in: ZbF 19. Jg. (1967), S. 749-761, hier S. 760 f. und derselbe; Investitionstheorie, a.a.O., S. 83 f

2) Vgl. etwa die Arbeiten von Henke, M.; Vermögensrentabilität - ein einfaches dynamisches Investitionskalkül, in: ZfB 43. Jg. (1973), S. 177-198 - Kruschwitz, L.; Finanzmathematische Endwert- und Zinsfußmodelle, in: ZfB 46. Jg. (1976), S. 245-262 - Derselbe; Endwert- und Entnahmemaximierung bei alternativen Investitionsprojekten, in: DB 31. Jg. (1978), S. 549-554 und S. 597-600 - Meyer, H.; Zur allgemeinen Theorie der Investitionsrechnung, Düsseldorf 1977 sowie Kammerdiener, R.; Weiterentwicklung des Systems der allgemeinen Rechenregeln von Kruschwitz für die Endwert- und Entnahmemaximierung, Diplomarbeit am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Freien Universität Berlin (Prof. Barais) 1978

3) Vgl. den weiteren Verlauf dieser Arbeit und die dort zitierte Literatur

2.1.2 Betriebswirtschaftliche Entscheidungsmodelle und Investitionsplanung-----

Modelle werden zumeist als isomorphe, formalisierte Abbilder eines aus einer bestimmten Sicht interpretierten und strukturierten Ausschnitts der Wirklichkeit definiert.¹⁾

Für ein praktisch verwendbares Entscheidungsmodell konkurriert die Forderung nach Isomorphie mit dem Erfordernis der Praktikabilität. Erst der Verzicht auf strenge "Isomorphie des Modells" ermöglicht es, zu einem praktikablen Kalkül zu gelangen; erst die Abstraktion von etlichen realen Sachverhalten eröffnet Wege, die komplexe Realität in begrenzter Zeit und mit begrenztem Mitteleinsatz zu analysieren und entsprechende Entscheidungen abzuleiten."²⁾

Die Abstraktion von realen Sachverhalten hat dabei zwei Dimensionen. In sachlicher Hinsicht vernachlässigt die betriebswirtschaftliche Investitionstheorie in ihren Entscheidungsmodellen die gesamtwirtschaftlichen, soziologischen, politischen und ökologischen Implikationen der einzelbetrieblichen Investitionstätigkeit; getreu ihrem Erkenntnisobjekt beschränkt sie sich auf die betrieblichen Wirkungen und auch dort nur auf die ökonomischen, schließt also wiederum Elemente der realen Problemstellung wie technische, juristische, arbeitswissenschaftliche oder medizinische Tatbestände aus ihrer Betrachtung aus.

1) Vgl. Kosiol, E.: Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen, in: ZfBw 13. Jg. (1961), S. 318-334; Dunkelbad, W.: Modell - ein isomorphes Abbild der Wirklichkeit? in: Grochla, E./Szyperski, N. (Hrsg.): Modell- und computergestützte Unternehmensplanung, Wiesbaden 1973, S. 152-162 - Bitz, M.: Strukturierung unternehmerischer Entscheidungsmodelle, Wiesbaden 1977, S. 54-59

2) Bitz, M.: Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 53

In zeitlicher Hinsicht werden von den Modellen der Investitionsplanung nur wenige Phasen des Entscheidungsprozesses über unternehmerische Investitionen betrachtet. Gliedert man den Problemlösungsprozess in die üblicherweise unterschiedenen Phasen¹⁾ (vgl. Abb. 4), dann beschränken sich Investitionsplanungsmodelle in aller Regel²⁾ auf die Phase III: die Beurteilung bereits definierter Handlungsmöglichkeiten unter der Berücksichtigung vorgegebener Umweltbedingungen und bei Beachtung der formulierten Zielsetzungen.³⁾ Bei der Problemerkennung, der Problemanalyse und der Definition der Entscheidungskriterien und Handlungsmöglichkeiten geben die bekannten Investitionsplanungsmodelle keine Handlungsempfehlungen, wenn man davon absieht, daß sie allein durch ihre Struktur gewisse Anregungen für die Gestaltung dieser Prozesse geben.⁴⁾

Die in der beschriebenen Weise sachlich und zeitlich abgegrenzte Problemstellung stellt den Realitätsausschnitt dar, der in den Entscheidungsmodellen abgebildet wird. Dazu sind von der betriebswirtschaftlichen Theorie sowohl inhaltliche Interpretationsmuster wie auch formale Modellstrukturen entwickelt worden.

Die Interpretationsmuster geben an, welche Bestandteile der Realität als Randbedingungen, welche als Handlungsmöglichkeiten

1) Vgl. etwa Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 7 ff. und Heinen, E.: Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre, a.a.O., S. 54

2) Zur Einbeziehung der Kontrollphase vgl. Lüder, K.: Investitionskontrolle - Die Kontrolle des wirtschaftlichen Ergebnisses von Investitionen, Wiesbaden 1969

3) Zur Dominanz der Lösungsfindung gegenüber der Problemformulierung in der "Klassischen" entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre vgl. Pfohl, H.-C.: Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, Berlin-New York 1977, S. 31 ff.

4) Aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht wird versucht, diese Phasen in den Investitionsplanungsprozess zu integrieren. Vgl. etwa Budde, A.: Die Organisationsstruktur von Investitionsentscheidungen in Unternehmen - Ergebnisse einer explorativen empirischen Erhebung, Frankfurt/M. 1979

lichkeiten zu begreifen sind und welche Entscheidungsziele bei der Investitionsplanung zu verfolgen sind. Diese inhaltliche Strukturierung der Realität hat einen empirischen und einen normativen Aspekt. So ermittelt die Betriebswirtschaftslehre, welche Ziele Investoren im allgemeinen verfolgen, leitet daraus dann aber Zielvorschriften ab, die sie dem "rationalen" Investor vorgibt. Daß die Interpretationsmuster oft stark von der subjektiven Problemsicht des betriebswirtschaftlichen Theoretikers abhängen, zeigt sich beispielsweise darin, daß ein Teil der bestehenden Investitionsprogrammplanungsmodelle stark produktionswirtschaftlich ausgerichtet ¹⁾, während andere Modelle

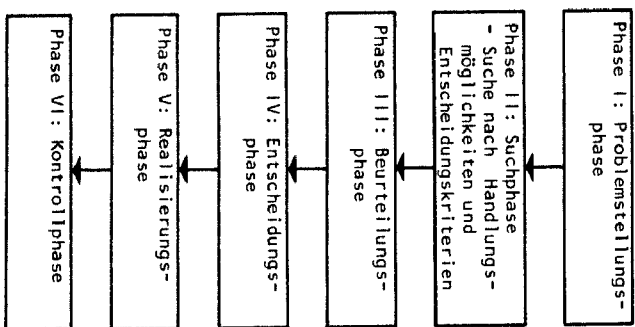


Abb. 4 : Phasen des Planungs- und Entscheidungsprozesses

1) Vgl. für viele die Modelle von Jacob, H.; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O.

diesen Aspekt fast vollständig zugunsten einer finanzwirtschaftlichen Sicht vernachlässigen. ¹⁾

Ein solche einengende Problemsicht ist für ein theoretisches Erklärungsmodell sehr wohl zulässig, da dessen Ziel nicht die Erarbeitung konkreter Handlungsempfehlungen, sondern die Ableitung theoretischer Hypothesen über einen, durch Prämissen vereinfachten Sachverhalt ist und die Modelle sich von daher auf einen "überschaubaren Teil-Zusammenhangsbereich beschränken." ²⁾

Für ein Entscheidungsmodell ist eine solche Vereinfachung der realen Problemstruktur aber nur dann zulässig, wenn sie die abgeleiteten Handlungsempfehlungen nicht unbrauchbar macht. ³⁾ Im angeführten Beispiel bedeutet das, daß die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Investitions-, Finanzierungs- und Produktionsbereich nicht so stark sein dürfen, daß eine simultane Behandlung der drei Bereiche unumgänglich ist. Bei jeder Problemzerlegung ist somit zu beachten, daß diese zwar in der Regel die Komplexität des Problems reduziert, auf der anderen Seite jedoch die Qualität der Problemlösung verschlechtert und zwar um so mehr, je mehr relevante Beziehungen zwischen den Teilproblemen bestehen. ⁴⁾

1) Vgl. etwa die Modelle von Hax, H.; Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der Linearen Programmierung, a.a.O.
 2) Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 54
 3) Vgl. Hax, H.; Bewertungsprobleme bei der Formulierung von Zielfunktionen für Entscheidungsmodelle, S. 749
 4) Vgl. Pfohl, H.-C.; Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 163

Eng mit der inhaltlichen Probleminterpretation ist die Vorgabe bestimmter formaler Modellstrukturen verbunden. In der historischen Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre hat die Verfügbarkeit bestimmter, speziell mathematischer Lösungsmethoden immer schon bestimmte formale Modellstrukturen und materielle Probleminterpretationen impliziert. Dies gilt auch für die Investitionsprogrammplanung, bei der der Aufbau und die Komplexität der Entscheidungsmodelle eng mit der Entwicklung der Lösungsmethoden des Operations Research verbunden ist.

Um die verfügbaren mathematischen Methoden zur Problemlösung verwenden zu können, werden die Handlungsmöglichkeiten in mathematischen Variablen erfäßt, die Handlungskonsequenzen in numerischen Ausdrücken formuliert und eine mathematisch berechenbare Zielfunktion definiert. Eine solche Auffassung der Problemstellung als wohl-definiertes Problem impliziert¹⁾, "daß es sich um ein Entscheidungsproblem mit vorgegebenem, endlichen Suchraum handeln muß, also eine endliche, vollständig bekannte Alternativenzahl vorliegt."²⁾ Eben dies kann für Investitionsplanungsprobleme a priori nicht unterstellt werden, da

- aufgrund der Länge des Planungszeitraums und der Breite des Entscheidungsfeldes nicht davon ausgegangen werden kann, daß alle Entscheidungsalternativen bekannt sind;

- 1) Zum Begriff vgl. etwa Heinen, E.: Zur Problembezogenheit von Entscheidungsmodellen, in: WlSt (1972), S. 3-7, hier S. 3
- 2) Pfohl, H.-C.: Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 197

- bei solch bedeutenden Unternehmensentscheidungen eine Reihe numerisch nicht erfassbarer Handlungskonsequenzen und Zielwirkungen in die Betrachtung mit einbezogen werden müssen.

"Vollständig definierten Problemen entsprechen geschlossene Entscheidungsmodelle, die eine analytische Problemlösung ermöglichen. Modelle dieser Art werden 'geschlossen' genannt, weil sie nicht untersuchen, wie Alternativen entstehen, wie Informationen gewonnen werden und welchen Einfluß z.B. die Umwelt auf die relevanten Größen während des Problemformulierungs- und des Problemlösungsprozesses ausüben kann."¹⁾

Mit der Fixierung auf bestimmte Lösungstechniken und eine bestimmte formale Modellstruktur ist somit wiederum eine Einengung der Problemsicht verbunden.

Ob die genannten Einschränkungen das Erfordernis der strukturellen Abbildung der realen Problemstellung verletzen und ob somit die bisher von der Betriebswirtschaftslehre entwickelten Entscheidungsmodelle zur Ableitung praktisch brauchbarer Handlungsempfehlungen verwendbar sind, soll im folgenden nicht weiter untersucht werden.²⁾ Stattdessen wird akzeptiert, daß betriebswirtschaftliche Investitionsprogrammplanungsmodelle nur einen Teil des einzelwirtschaftlichen Investitionsentscheidungsprozesses und der dabei zu berücksichtigenden Einflurfaktoren abbilden. "Es dürfte

- 1) Heinen, E.: Zur Problembezogenheit von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 3 f.
- 2) Zu einer solchen kritischen Aufarbeitung der Investitionstheorie vgl. Krause, W.: Investitionsrechnungen und unternehmerische Entscheidungen, Berlin 1973.

zweckmäßig sein, sich an diese begrenzte Leistungsfähigkeit der Investitionsrechnungen zu erinnern, wenn man sich später "im weiteren Verlauf dieser Arbeit" mit mathematisch teilweise hochkomplizierten Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung auseinandersetzt."¹⁾

2.2 Charakterisierung von Entscheidungsmodellen zur Investitionsprogrammplanung

2.2.1 Grundsätzlicher Aufbau der Modelle

Die Entwicklung der Theorie der Investitionsprogrammplanung ist eng verbunden mit der Entstehung der mathematischen Programmierung. "Unter dem Begriff 'Mathematische Programmierung' werden die Methoden zusammengefaßt, welche die Optimierung (Maximierung oder Minimierung) einer Zielfunktion unter bestimmten einschränkenden Bedingungen oder Restriktionen, die in Form von Gleichungen oder Ungleichungen gegeben sind, bewirken."²⁾ Das meist angewendete Verfahren dieser Methodengruppe ist die lineare Programmierung³⁾, bei der eine lineare Zielfunktion unter Beachtung linearer Restriktionen extremiert wird. Dementsprechend ist auch die weitaus größte Anzahl der Planungsmodelle zur Investitionsprogrammplanung als lineares Modell formuliert. Ein solches lineares Investitionsprogrammplanungsmodell hat die allgemeine Form:

- 1) Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 9
- 2) Hansen, H.R.; Einsatzmöglichkeiten von computergestützten Planungs- und Entscheidungstechniken in der Wirtschaft, in: Pfohl, H.C./Ritup, B.; Anwendungsprobleme moderner Planungs- und Entscheidungstechniken, Königstein/Ts. 1979, S. 79-97, hier S. 89
- 3) Vgl. Miller-Wehbach, H.; Operations Research, a.a.O., S. 88 f.

$$\begin{aligned} \text{Maximiere} \quad & Z = z \cdot I \cdot x + z \cdot FL \cdot a \\ & \text{unter den Nebenbedingungen} \\ & A \cdot I \cdot x + A \cdot FL \cdot a = b \\ & x \geq 0 \\ & a \geq 0 \end{aligned}$$

In dieser Formulierung bedeutet:

- x = Vektor der Variablen, die die Investitionsmöglichkeiten kennzeichnen
- a = Vektor der Variablen, die die sonstigen Handlungsmöglichkeiten im Finanz- oder Leistungswirtschaftlichen Bereich kennzeichnen;
- z · I, z · FL = Vektor der Zielfunktionskoeffizienten der Investitions- bzw. sonstigen Handlungsalternativen (Bewertungsvektoren);
- A · I, A · FL = Matrix aus den Koeffizienten der n Handlungsmöglichkeiten in den m Nebenbedingungen (Aktivitätsmatrix);
- b = Begrenzungsvektor der m Nebenbedingungen (Erfordernisvektor);

Die verschiedenen, in der Literatur dargestellten Investitionsprogrammplanungsmodelle unterscheiden sich darin, welche Handlungsmöglichkeiten, Entscheidungsziele und Nebenbedingungen und welcher Handlungszeitraum in den formalen Elementen von Programmierungsmodellen abgebildet werden. "Die Abbildung eines bestimmten Entscheidungsproblems durch ein formalisiertes Gefüge mathematischer Symbole setzt zunächst einmal eine hinreichend konkrete Problemdefinition voraus sowie eine gedankliche Reduktion und Aggregation der Vielzahl denkbarer Aktivitäten, möglicher Konsequenzen, maßgeblicher Zielvorstellungen und des gesamten Interdependenzgefüges zwischen diesen Sachverhalten."¹⁾

1) Bitz, M.; Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 15

Die Literatur zur Investitionsprogrammplanung vernachlässigt dieses Erfordernis oftmals und stellt die Betrachtung formaler Modellstrukturen in den Vordergrund ihrer Betrachtungen.¹⁾

Im folgenden werden daher die ökonomischen Elemente und die damit verbundenen Entscheidungsprämissen alternativer Modellformulierungen erörtert.

2.2.2 Elemente der Modelle

2.2.2.1 Die Handlungsmöglichkeiten

Die Handlungsmöglichkeiten, die formal in den Variablen der Planungsmodelle ausgedrückt werden, sind in erster Linie die Investitionsprojekte, in zweiter Linie aber auch damit verbundene Aktionsmöglichkeiten in anderen Teilbereichen der Unternehmung. Da eine simultane Totalplanung aller Teilbereiche, die durch die Investitionsplanung berührt werden, zwar strenggenommen notwendig, mit vertretbarem Aufwand aber nicht durchzuführen ist,²⁾ muß das Aktionsfeld der Investitionsplanung beschränkt werden. Dies kann durch Ausnutzung der spezifischen Problemeigenschaften geschehen und muß so erfolgen, daß möglichst wenig relevante Interdependenzen zerschnitten werden.³⁾

Die Investitionsplanung ist ihrer Natur nach eine Langfristplanung.⁴⁾ Sie stellt langfristig der Unternehmung Produk-

- 1) Vgl. Thompson, H.E.; Mathematical Programming, The Capital Asset Pricing Model and Capital Budgeting of Interrelated Projects, in: *Jof. Vol.* 31 (1976), S. 125-131, hier S. 125
- 2) Vgl. Gutenberg, E.; Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band III: Die Finanzen; 7. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York 1975, S. 370 ff.
- 3) Zur Zerlegung von Aktionsfeldern vgl. Bitz, M.; Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 99 ff.
- 4) Vgl. Kruchwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 4 f.

tionsfaktoren zur Verfügung (leistungswirtschaftlicher Aspekt) und stellt langfristige Anforderungen an den Finanzierungsbereich der Unternehmung. Sie setzt den mengenmäßigen Rahmen für die kurzfristige Unternehmensplanung; z.B. für die kurzfristige Produktions- und Absatzplanung und wird selbst durch die kurzfristig festgelegten Wertgrößen, z.B. Preise und Produktionskosten beeinflusst.¹⁾ Es erscheint unter Vereinfachungsgesichtspunkten zulässig, die Verbindung zu den kurzfristigen Teilplänen allein durch eine Vorgabe von Wertgrößen herzustellen, die im theoretischen Idealfall Lenkungspreisen entsprechen sollten. Damit beschränkt sich das Aktionsfeld der simultanen Planung auf die mittel- und langfristigen Handlungsmöglichkeiten im Leistungs- und Zahlungsbereich der Unternehmung, etwa auf die mittel- und langfristige Produktionsprogrammplanung²⁾ und die Finanzierungsprogrammplanung.

Auch in dem so beschränkten Aktionsfeld wird es kaum je gelingen, sämtliche potentiellen Handlungsmöglichkeiten zu erfassen. Aufgabe von Phase II des Problemlösungsprozesses (vgl. Abb. 4) ist daher die Selektion der Handlungsmöglichkeiten mit dem Ziel, vornehmlich solche Alternativen zu erfassen, die geeignet erscheinen, den unbefriedigenden Anfangszustand in einen gewünschten Endzustand zu überführen. Diese ausgewählten Handlungsalternativen seien in Anlehnung an Pfohl als Transformationsmöglichkeiten bezeichnet.³⁾

- 1) Den ersten Aspekt nennt Gäfgen 'technologische Interdependenzen', den zweiten 'wertmäßige Interdependenzen'; vgl. Gäfgen, G.; Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, a.a.O., S. 209
- 2) Zum Begriffsinhalt vgl. Jacob, H.; Produktionsprogrammplanung, in: Jacob, H. (Hrsg.); Industriebetriebslehre in programmierter Form, Band II: Planung und Planungsrechnungen Wiesbaden 1971, S. 43 ff.
- 3) Vgl. Pfohl, H.-C.; Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 53

Bei der Selektion dieser Transformationsmöglichkeiten kommen sowohl implizite, im Entscheidungsmodell nicht erfasste Umweltbedingungen wie auch die Erfahrung des Entscheidungsträgers zum Tragen. So werden z.B. nur Investitionsmöglichkeiten in Deutschland in einer bestimmten Branche und auf der Basis einer bestimmten Technologie betrachtet, die im Entscheidungszeitpunkt zu realisieren sind. Es erfolgt also eine zeitliche und sachliche Reduktion des Aktionsfeldes, in dem andere Möglichkeiten implizit als nicht lohnend oder nicht realisierbar ausgeschlossen werden. Auch wird der Suchprozeß nach potentiellen Transformationsmöglichkeiten oft aus Gründen der Datengewinnung und der damit verbundenen Kosten vorzeitig abgeschlossen. Der Entscheidende vermutet zwar, daß noch weitere, ihm nicht bekannte Handlungsmöglichkeiten existieren, es erscheint ihm aber zu kostspielig oder nicht lohnend, darüber weitere Informationen einzuholen.¹⁾

In den meisten bisher entwickelten Investitionsplanungsmodellen wird nur ein Teil der Transformationsmöglichkeiten detailliert abgebildet, der Rest der Handlungsalternativen wird in aggregierten Entscheidungsvariablen zusammengefaßt. Für einen Teil des Aktionsfeldes ersetzen also Pauschalannahmen die detaillierte Abbildung. Das Modell erfaßt z.B. nicht sämtliche Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten mit ihren vollständigen Zahlungsströmen, sondern aggregiert eine Reihe von Investitionsmöglichkeiten und eine Reihe von Finanzierungsmöglichkeiten zu jeweils einer Entscheidungsvariablen, deren Handlungskonsequenzen in einem pauschal angenommenen Wert zusammengefaßt werden.

1) Vgl. Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 131

Modelle, die unter den gesetzten Annahmen über das Aktionsfeld die Transformationsmöglichkeiten vollständig abbilden, sollen in Anlehnung an Dieter Schneider Totalmodelle oder finanzwirtschaftliche Totalmodelle genannt werden.¹⁾

"Ein finanzwirtschaftliches Partialmodell liegt vor, wenn für die Zeit innerhalb des Planungszeitraums Pauschalannahmen über einzelne Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten erfolgen."²⁾

Im finanzwirtschaftlichen Bereich setzen Investitionsplanungsmodelle als Pauschalannahme meist die Prämisse, daß neben den detailliert abgebildeten Investitions- und Kreditmöglichkeiten noch sogenannte 'Ergänzungsinvestitionen' und 'Ergänzungskredite'³⁾ zu einem jeweils einheitlichen Haben- bzw. Sollzinssatz möglich sind. Dahinter steht die Annahme, daß der Investor Mittel zu einem einheitlichen Habenzins auf dem Kapitalmarkt anlegen kann. Es ist z.B. aber genauso möglich, daß in der Entscheidungsvariable 'Ergänzungsinvestition' eine Reihe von möglichen Ersatzinvestitionen kleineren Umfangs zusammengefaßt sind und der Habenzins dann deren Durchschnittsrendite, deren Höhe aus den Erfahrungen mit den zu ersetzenden Objekten abgeleitet wurde, symbolisiert.⁴⁾

1) Vgl. Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 191 ff. Der zweite Begriff stellt zwar sehr auf den von D. Schneider verwendeten 'zahlungsorientierten Investitionsbegriff' ab, macht aber deutlich, daß hier mit Totalmodellen Investitionsplanungsmodelle und nicht Unternehmensgesamtmodelle gemeint sind.

2) Vgl. denselben, S. 194
3) Zu den Begriffen vgl. Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 53 ff.

4) Vgl. zu einem ähnlichen Vorgehen Albach, H.: Investition und Liquidität, a.a.O., insbesondere S. 220 f und zur Kritik daran Hax, H.: Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O., S. 430 ff.

Im leistungswirtschaftlichen Bereich haben sich solche allgemein üblichen "klassischen" Pauschalnahmen noch nicht herausgebildet. Möglich wäre z.B. statt einzelner Anlagen ganze Aggregatgruppen oder statt einzelner Erzeugnisse Erzeugnisgruppen zu betrachten. ¹⁾

Jede Beschränkung des Aktionsfeldes, jede Selektion von Handlungsmöglichkeiten und jede Pauschalierung der Transformationsmöglichkeiten vermindert tendenziell die Güte der erzielbaren Lösung des Entscheidungsmodells und deren Relevanz für die reale Entscheidungssituation, ist aber aus pragmatischen Gründen oft notwendig, um über eine Senkung des Datengewinnungs- und Lösungsaufwandes eine praktische Verwendung des Planungskalküls zu ermöglichen. Abb. 5 strukturiert die bisher bekannten Modelle nach den in ihnen abgebildeten Handlungsmöglichkeiten.

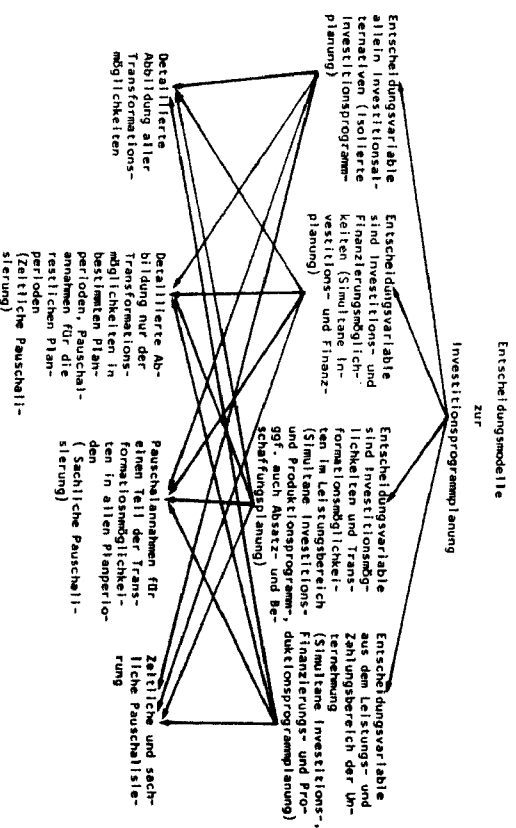


Abb. 5 : Handlungsmöglichkeiten in der Investitionsprogrammplanung

1) Vgl. Jacob, H.: Investitionsplanung mit Hilfe der Optimierungsrechnung; in: SzU, Bd. 4, Wiesbaden 1968, S. 93-115, hier besonders S. 103

Vgl. auch Schreier, A.-W.: Produktionsplanung auf der Grundlage einer Datenbank des Fertigungsbereichs, München/Wien 1976, S. 52 ff.

2.2.2.2 Die Handlungskonsequenzen der Investitionsalternativen

"Ist das für ein konkretes Entscheidungsmodell relevante Aktionsfeld abgesteckt, stellt sich als nächstes die Frage welche Maßgrößen zur Beschreibung der Konsequenzen der verschiedenen Handlungsmöglichkeiten herangezogen werden sollen." ¹⁾

Durch das Zielsystem und die Restriktionen der Entscheidungssituation wird festgelegt, welche Handlungskonsequenzen für den Entscheidungsträger relevant sind. Formal kann man die Wirkungen unterteilen in solche, die sich direkt im Zielsystem niederschlagen (Zielwirkungen) und in solche Konsequenzen, die sich auf die Restriktionen der Entscheidungssituation auswirken (Ressourcenwirkungen).

Inhaltlich sind insbesondere finanzielle und leistungswirtschaftliche Auswirkungen der Handlungsalternativen zu unterscheiden. Investitionen haben sowohl monetäre Konsequenzen im Finanzbereich wie auch mengenmäßige Wirkungen im Leistungsbereich durch die Schaffung von Produktionskapazitäten. Neben diesen quantifizierten Wirkungen existieren nur schwer quantifizierbare Ziel- und Ressourcenwirkungen technischer, wirtschaftlicher, sozialer und psychologischer Art. ²⁾ "Zum einen kann versucht werden, die qualitativen Wirkungen durch die Angabe kardinal messbarer Indikatoren

1) Biltz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 141

2) Vgl. Kappeler, E./Rehkyjler, H.; Kapitalwirtschaft; in: Heinen, E.; Industriebetriebslehre, a.a.O., S. 660-765, hier S. 677

in quantifizierte Form zu bringen." 1) Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Handlungsalternativen jeweils bestimmte Nutzen-Präferenzwerte zuzuordnen, die weitgehend subjektiv und nur ordinal meßbar sind. 2)

Neben dem Problem der Auswahl der relevanten Handlungssequenzen und der Entwicklung operationaler Maßgrößen existiert das Problem der Zurechenbarkeit der Handlungssequenzen auf die Transformationsmöglichkeiten. Wie erläutert, sind die Handlungskonsequenzen eines Investitionsobjekts nicht allein von ihm selbst, sondern auch von anderen, gleichzeitig oder zu anderen Zeitpunkten realisierten Handlungsalternativen abhängig (zeitlich-horizontale und zeitlich-vertikale Interdependenzen).

Die bisher existierenden Investitionsprogrammplanungsmodelle können danach klassifiziert werden, ob sie von einer direkten, von der Zusammensetzung des Aktionsprogramms unabhängigen Zurechenbarkeit der Handlungskonsequenzen auf die einzelnen Investitionsprojekte ausgehen ("Zahlungsreihenhypothese" der Kapitaltheoretischen Modelle) oder nicht. "Die Annahme eines "Nettoertrages" einer Maschine verkennt die betriebswirtschaftliche Problematik, die in solch einer Annahme liegt. Eine solche Annahme beruht auf Willkür." 3)

1) Bitz, M.; Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 88

2) Vgl. zu diesem Vorgehen in der Investitionsprogrammplanung Gearing, C.E./Swart, W.W./Var, T.; Determining the optimal investment policy for the tourism sector of a developing country, in: MS Vol. 20 (1973), S. 487-497 und Bernado, J.J./Janzer, H.P.; A capital budgeting decision model with subjective criteria, in: JFQA Vol. 12 (1977), S. 261-275

3) Klingner, K.; Das Schwächebild der Investitionsrechnungen, in: DB 17. Jg. (1964), S. 1821-1824, hier S. 1823

Produktionstheoretische Modelle 1) versuchen demgegenüber die Prämissen direkt zurechenbarer Ziel- und Ressourcenwirkungen durch Einbeziehung leistungswirtschaftlicher Entscheidungsvariablen in die Investitionsplanung zu umgehen. Durch Kapazitäts- und Liquiditätsbedingungen verknüpfen sie die Leistungs- und finanzwirtschaftlichen Wirkungen von Produktmengen und Investitionen und schaffen damit "die Verbindung der letztlich relevanten Ergebnisse "Zahlungen" mit den unternehmerischen Aktivitäten." 2)

Bei der bisherigen Betrachtung wurde implizit davon ausgegangen, daß eine Aktion zwar Handlungskonsequenzen unterschiedlicher Art auslösen kann, daß die Maßgröße zur Erfassung einer Ziel- oder Ressourcenwirkung jedoch eindimensional ist. Eine solche Situation wird Entscheidung unter Sicherheit genannt und ist dadurch gekennzeichnet, daß mit der Bewertung der Konsequenzen auch die Bewertung der Aktionen gegeben ist und bei der Suche nach dem optimalen Handlungsprogramm allenfalls noch technische Probleme entstehen. 3)

Eine solche Situation ist allerdings unrealistisch. Der Investor lebt in einer unsicheren Welt, in der er für die unterschiedlichen, ihn interessierenden Wirkungen seiner Aktionen nur in den seltensten Fällen eindeutige Werte, meist aber in Abhängigkeit von dem Eintreten bestimmter

1) Vgl. insbesondere die Ansätze von Swoboda, P.; Die simultane Planung von Rationalisierungs- und Erweiterungsinvestitionen und von Produktionsprogrammen, in: ZfB 35. Jg. (1965), S. 148-163 und Jacob, H.; Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, a.a.O.

2) Blumentrath, U.; Investitions- und Finanzplanung mit dem Ziel der Endwertmaximierung, Wiesbaden 1969, S. 321

3) Vgl. Eisenführ, F.; Die Wissenschaft vom vernünftigen Handeln, in: DEM 38. Jg. (1978), S. 435-448, hier S. 438

Umweltkonstellationen nur mögliche Konsequenzen angeben kann. Bei dieser "Entscheidungssituation unter Unsicherheit" kennt der Entscheidungsträger die tatsächlich eintretenden Konsequenzen einer Aktion nicht. "Risiko bezüglich der tatsächlich eintretenden Konsequenzen besteht dann, wenn die tatsächlich eintretenden Konsequenzen durch die "Aktion und die Umweltkonstellation" nur stochastisch festgelegt sind."¹⁾

"Ungewißheit bezüglich der tatsächlich eintretenden Konsequenzen besteht schließlich dann, wenn die tatsächlich eintretenden Konsequenzen durch die Kombination" aus Aktion und Umweltzustand "weder deterministisch noch stochastisch festgelegt, sondern selbst noch ungewiß sind."²⁾³⁾

Investitionsprogrammplanungsmodelle, soweit sie die Unsicherheit der Ziel- und Ressourcenwirkungen berücksichtigen, gehen zumeist von einer stochastischen Verteilung der Handlungskonsequenzen aus. Formal basiert ein solches Modell auf einer vierdimensionalen Matrix, auf deren Achsen die Transformationsmöglichkeiten, die Perioden des Planungszeitraums, die verschiedenen Ziel- und Ressourcenwirkungen und die alternativ als möglich erachteten Umweltzustände stehen. Handelt es sich um eine "Entscheidung bei Risiko" so ist diese Entscheidungsmatrix⁴⁾ zu multiplizieren mit einer zweidimensionalen Matrix, die in Abhängigkeit von Plan-

- 1) Bamberg, G./Coenenberg, A.G.; Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, 2. Aufl. München 1977, S. 22
- 2) Bamberg, G./Coenenberg, A.G.; Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, a.a.O., S. 22
- 3) Diese Definition steht vordergründig im Widerspruch zur traditionellen Begriffsfassung, wonach bei der Risikosituation sich für alternative Umweltzustände Wahrscheinlichkeiten angeben lassen, während dies bei der Ungewißheitssituation nicht möglich ist. Beide Begriffsfassungen lassen sich ineinander überführen, wenn man für jede mögliche Handlungskonsequenz einen eigenen Umweltzustand formuliert. Vgl. dazu ebendort.
- 4) Der Begriffsinhalt ist hier nicht identisch mit dem der normativen Entscheidungstheorie, vgl. Bamberg, G./Coenenberg, A.G.; Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, a.a.O., S. 33 f.

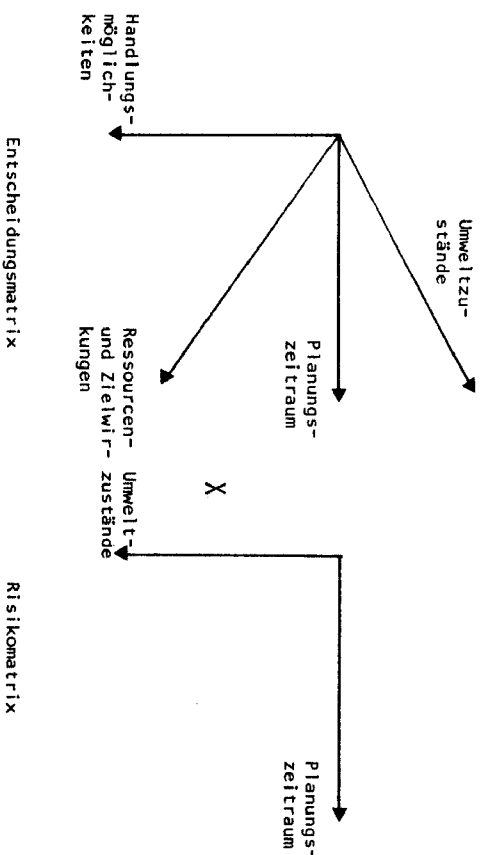


Abb. 6 : Entscheidungs- und Risikomatrix der Investitionsprogrammplanung bei Unsicherheit (schematisch)

periode und Umweltzustand jeder Handlungskonsequenz eine Eintrittswahrscheinlichkeit zuordnet. Es entsteht eine 'modifizierte Entscheidungsmatrix'.

Das Rechnen mit dieser vierdimensionalen Matrix ist prinzipiell möglich, da jedes Feld numerisch eindeutig bestimmte Werte enthält, wirft allerdings erhebliche rechnerische Probleme auf. Zudem ist theoretisch strittig, welches Ziel eine Optimierung bei Unsicherheit verfolgen soll.¹⁾ Daher befinden sich Investitionsprogrammplanungsprobleme mit Berücksichtigung der Unsicherheit noch im Anfangsstadium ihrer Entwicklung.²⁾

- 1) Zu den alternativen Zielformulierungen bei Unsicherheit vgl. Eisenführ, F.; Die Wissenschaft vom vernünftigen Handeln, a.a.O., S. 439 f.
- 2) Zum Stand der Forschung vgl. Born, A.; Entscheidungsmodelle zur Investitionsplanung - Ein Beitrag zur Konzeption der 'flexiblen Planung', Wiesbaden 1976. Vgl. auch die Lehrbücher Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 397 ff.; Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S.269 ff.; Blödm, H./Jäger, K.; Investition, a.a.O., S. 255 ff.

Es ist festzuhalten, daß die Informationsannahmen bei der Probleminterpretation der normativen Entscheidungstheorie sehr weit gehen. ¹⁾ "In allen Fällen kennt das Entscheidungs-subjekt die Menge der möglichen Alternativen und die jeweilige Ergebnismfunktion" (Handlungskonsequenz - Ann. des Verfassers). "Es kennt darüber hinaus auch die Menge der möglichen Umweltsituationen." ²⁾ Diese Prämissen schränken die Anwendbarkeit der geschlossenen Entscheidungsmodelle für die Investitionsplanung ein, da aufgrund ihres langfristigen Charakters erhebliche Prognoseprobleme entstehen. So dürfte es weder sinnvoll noch möglich sein, alle alternativen Umweltsustände sowie die potentiellen Handlungsmöglichkeiten für einen Planungszeitraum von unter Umständen mehr als 10 Jahren einigermassen begründet vorauszusagen. Aufgrund solcher Schwierigkeiten sind in der Literatur Ansätze zur Konstruktion "offener Entscheidungsmodelle" entwickelt worden, deren Ziel es ist, aus der Durchleuchtung der kognitiven Problemlösungsprozesse realer Entscheidungsträger Lösungsstrategien abzuleiten. ³⁾ Auf die Lösung von Investitionsplanungsproblemen ist dieser Ansatz bisher nur vereinzelt angewendet worden.

Abb. 7 beschränkt sich daher darauf, "geschlossene Investitionsplanungsmodelle" nach den dort zu findenden Ausprägungen der Abbildung der Handlungskonsequenzen zu klassifizieren.

1) Vgl. Kirsch, W.: Entscheidungsprozesse, 1. Band: Verhaltenswissenschaftliche Ansätze der Entscheidungstheorie, Wiesbaden 1970, S. 29 ebendort
 2) ebendort
 3) Zum grundlegenden Ansatzpunkt dieses Denkansatzes vgl. Simon, H.A.: Administrative Behavior, 2. Aufl. New York 1957. Vgl. auch Kirsch, W.: Entscheidungsprozesse, Band I-III, a.a.O.

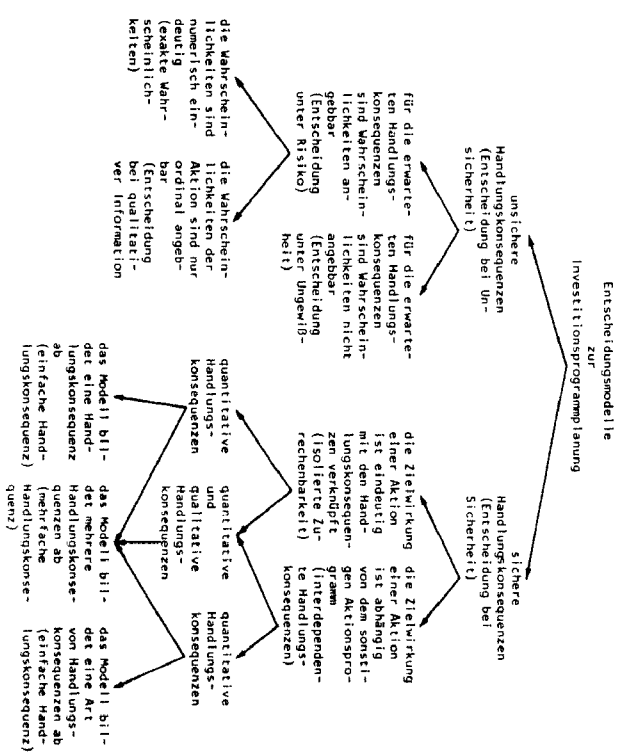


Abb. 7 : Handlungskonsequenzen in der Investitionsprogrammplanung

2.2.2.3 Das Zielsystem des Investors

Das Zielsystem des Investors kann ein oder mehrere Zielwirkungen umfassen. 1) Die Abbildung der Ziele im Entscheidungsmodell erfolgt auf unterschiedliche Weise. Handelt es sich um Ziele, bei denen das Streben auf einen Extremwert gerichtet ist, so werden diese in der Zielfunktion erfaßt. Soll hingegen nur ein bestimmter Grenzwert erreicht oder übertroffen werden, so kann das entsprechende Ziel auch in einer Nebenbedingung abgebildet werden 2)

Geschlossene Entscheidungsmodelle auf der Basis der mathematischen Programmierung setzen die Existenz mindestens eines Extremalziels voraus. Enthält das Zielsystem mehrere zu maximierende Ziele, die zumindestens partiell konkurrieren, so versagen die klassischen Optimierungsverfahren. Je nach Zielinhalt, sind dann Ansätze des 'Multiple Objective Programming' 3) oder Scoring-Modelle 4) zur Lösungsbestimmung zu verwenden.

Empirische Untersuchungen zeigen, daß Extremalziele bei praktischen Problemstellungen weit weniger häufig sind

- 1) Zum Begriff vgl. Hettich, G.O.; Entscheidungsprinzipien und Entscheidungsregeln bei mehrfacher Zielsetzung, in: WiSt 7. Jg. (1978), S. 484-487
- 2) Zur Unterteilung der Ziele vgl. Hauschildt, J.; Entscheidungsziele - Zielbildung in innovativen Entscheidungsprozessen: Theoretische Ansätze und empirische Prüfung, Tübingen 1977, S. 13
- 3) Vgl. Isermann, H.; Strukturierung von Entscheidungsprozessen bei mehrfacher Zielsetzung, in: OR Spektrum Bd. 1 (1979), S. 3-26 und Fandel, G.; Optimale Entscheidung bei mehrfacher Zielsetzung, Berlin/Heidelberg/New York 1972 - Zur Anwendung in der Investitionsprogrammplanung vgl. Ashton, D.J./Atkins, D.R.; Multicriteria Programming for Financial Planning, in: J.Opl.Res.Soc. Vol. 30 (1979), S. 259 - 270
- 4) Vgl. Dreyer, A.; Scoring-Modelle bei Mehrfachzielsetzungen - Eine Analyse des Entwicklungsstandes von Scoring-Modellen, in: ZfB 44. Jg. (1974), S. 255-274

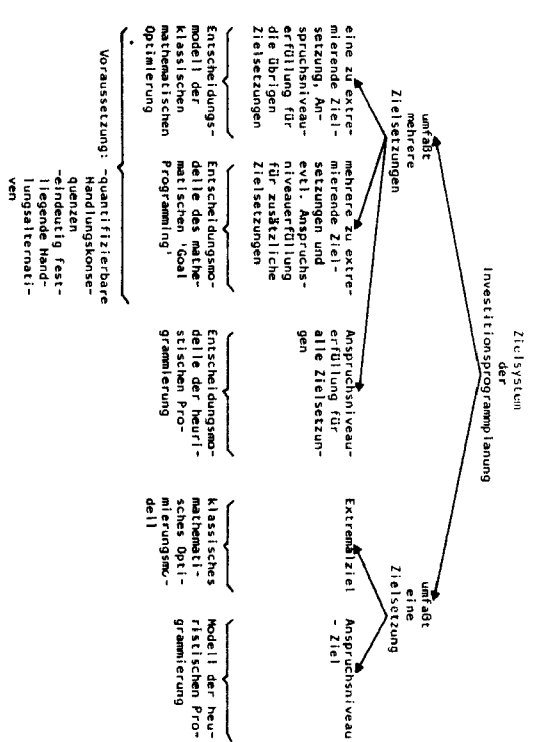


Abb. 8 : Zielsysteme der Investitionsprogrammplanung und einsetzbare Entscheidungsmodelltypen

als die betriebswirtschaftliche Theorie annimmt.¹⁾ Entscheidungsträger streben in der Regel nicht nach dem "absoluten Optimum", sondern sie wollen den erreichten "status quo" graduell verbessern oder mit einer Problemlösung ein implizites oder explizites Anspruchsniveau erreichen.²⁾

"Die traditionelle Theorie der Unternehmung basiert auf einer sehr speziellen Zielfunktion."³⁾ Dieses vom realen Unternehmerverhalten weitgehend abstrahierende Modell geht davon aus, "daß der Unternehmer nach dem erwerbswirtschaftlichen Prinzip in seiner ausgeprägtesten Form handelt, nämlich nach der Leitmaxime der Gewinn- oder Rentabilitätsmaximierung."⁴⁾

Auch die Modelle der Investitionsprogrammplanung legen als Extremalziel in aller Regel die Gewinnmaximierung zugrunde. Eine Isomorphe Abbildung der realen Zielsetzung des Unternehmens wird damit in vielen Fällen nicht erreicht werden, doch handelt es sich um eine zulässige Vereinfachung. "Das Streben nach Gewinn... bei den meisten Unternehmen eine maßgebliche Rolle spielt, wenn auch neben anderen Motiven, wird ein Entscheidungsmodell, das aussagt, wie der Gewinn maximiert werden kann, stets als nützlich empfunden werden, auch wenn man die daraus resultierenden Handlungsempfehlungen im Hinblick auf andere Motive nur mit Einschränkungen befolgt."⁵⁾

- 1) Vgl. Hauschildt, J.: Entscheidungsziele, a.a.O., S. 65 ff.
- 2) Vgl. denselben, S. 68 ff.
- 3) Heinen, E.: Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, Erster Beitrag: Die Zielfunktion der Unternehmung, S. 16
- 4) ebendort
- 5) Hax, H.: Bewertungsprobleme bei der Formulierung von Zielfunktionen für Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 749 f.

In der neueren Investitions- und Finanzierungstheorie wird das finanzielle Ziel der Gewinnmaximierung weiter differenziert,¹⁾ während das Ziel der Rentabilitätsmaximierung als nicht sinnvoll verworfen wird.²⁾

Bei einem mehrjährigen Planungszeitraum muß der Unternehmer eindeutig vorgeben, zu welchen Zeitpunkten er seinen Gewinn maximieren will. Sieht man das Gewinnstreben als Ausdruck eines "übergeordneten Zwecks, nämlich des höheren Wohlstandes oder der umfassenderen Güterversorgung"³⁾ für den Unternehmer, so muß der Investor bei dieser personenbezogenen Sicht bei der Operationalisierung seines Ziels festlegen, zu welchen Zeitpunkten er den Zahlungsstrom zur Deckung dieser Konsumausgaben benötigt. Strebt der Investor allein nach der Maximierung seines finanziellen Wohlstands, so besteht sein Entscheidungsproblem also darin, den aus dem Investitionsprogramm resultierenden Zahlungsstrom sowohl in seiner zeitlichen Struktur als auch bezüglich seiner Breite zu optimieren.⁴⁾ Diese Zielzahlungsreihe des Investors kann vom Entscheidungsmodell in unterschiedlicher Weise abgebildet werden:

- 1) Vgl. dazu Drukarczyk, J.: Investitionstheorie und Konsumpräferenz - Ein Beitrag zur expliziten Berücksichtigung der Ertrahmen (Konsumausgaben) im optimalen mehrperiodigen Investitionsprogramm des Unternehmers, Berlin 1970 und derselbe, Probleme individueller Entscheidungsrechnung - Kritik ausgewählter normativer Aussagen über individuelle Entscheidungen der Investitions- und Finanzierungstheorie, Wiesbaden 1975
- 2) Eine Erörterung alternativer finanzieller Zielsetzungen vor dem Hintergrund der simultanen Investitionsprogrammplanung findet sich u.a. bei Blumentrath, U.: Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., und Huber, P.: Zur Problematik der Formulierung entnahmestromorientierter Zielfunktionen von integrierten Investitions-, Finanzierungs- und Produktionsplanungsmodellen, Wien 1977
- 3) Vgl. Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 15 f.
- 4) Koch, H.: Betriebliche Planung, Wiesbaden 1961, S. 16
- 4) Vgl. Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 13

1. Das Modell bildet das Ursprungsziel des finanziellen Wohlstandsstrebens ab. Dies setzt eine bekannte finanzielle Nutzenfunktion des Entscheidungsträgers voraus, die angibt, in welchem Maße dieser bereit ist, gegenwärtigen gegen zukünftigen Konsum zu substituieren.¹⁾

Diese "Austauschrelationen von periodenbezogenen Einkommensteilen"²⁾ werden sich in der Realität kaum ermitteln lassen.³⁾ Daher haben Modelle mit der Abbildung des finanziellen Ursprungsziels allein Erklärungscharakter, zur Lösung praktischer Entscheidungsprobleme sind sie nicht verwendbar.

2. Das Modell verwendet als Zielvorschrift eine der beiden Zielausprägungen: Vermögensstreben oder Einkommensstreben und unterstellt damit, daß der Investor eine vorgegebene zeitliche Präferenz des Entnahmestroms angeben kann (Abbildung eines abgeleiteten Ziels).

Beim Einkommensstreben wird die zeitliche Struktur der Entnahmen für alle Investitionsalternativen identisch vorgegeben, Ziel ist allein die Maximierung der Breite des Entnahmestroms. Beim Vermögensstreben gibt der Investor sowohl die Struktur wie auch die Höhe der Entnahmen für alle Zeitpunkte bis auf einen vor, für diesen Zeitpunkt des Planungszeitraums maximiert der Investor

1) Vgl. Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 181 und Drukarczyk, J.: Probleme individueller Entscheidungsrechnung - Kritik ausgewählter normativer Aussagen über individuelle Entscheidungen in der Investitions- und Finanzierungstheorie, Wiesbaden 1975, S. 27

2) ebendort

3) Vgl. Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 13

seine Entnahmen.¹⁾ Liegt dieser Zeitpunkt am Ende des Planungszeitraums, so wird auch von Endwertstreben, liegt er am Beginn auch von Barwertstreben (Kapitalwertstreben) gesprochen.²⁾

Untersuchungen auf der Basis einfacher Entscheidungsmodelle haben ergeben, daß Einkommens- und Vermögensstreben nur selten zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.³⁾ "Wenn aber Vermögens- und Einkommensstreben zu denselben Entscheidungen führen, dann führt es auch Wohlstandsstreben, denn Wohlstandsstreben ist nichts anderes als eine von den persönlichen Präferenzen abhängige Mischung aus Einkommens- und Vermögensstreben."⁴⁾ Sollten diese ersten Ergebnisse für komplexere Planungssituationen bestätigt werden können, so könnte ein Entscheidungsmodell mit einer abgeleiteten Zielsetzung auch für Investoren mit der Zielsetzung des Wohlstandsstrebens brauchbare Handlungsempfehlungen ermitteln.

3. Das Modell geht nicht von den finanziellen Zielen unmitteibar aus, sondern verfolgt finanzwirtschaftliche Vorkriterien, die als Ersatzzielgrößen für die unterschiedlichen Ziele dienen (Abbildung eines Stellvertreterziels). Solche Ersatzzielgrößen werden mit dem 'Kapitalwert', dem 'Internen Zinsfuß' oder der 'Annuität'

1) Vgl. Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 13

2) Vgl. dazu Blohm, H./Häcker, K.: Investition, a.a.O., S. 51 ff. und Kern, W.: Investitionsrechnung, S. 61 ff.

3) Vgl. Kruschwitz, L./Fischer, J.: Untersuchung über Voraussetzungen, Wahrscheinlichkeit und Bedeutung von Konflikten zwischen den Zielsetzungen "Endwert- und Entnahmemaximierung" in der Investitionsplanung, Diskussionspapier Nr. 33, hrsg. vom Institut für Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Berlin 1977

4) Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 190

z.B. in den "Klassischen Partialmodellen" 1) für Investitionseinzelselektionen verfolgt, sie lassen sich aber auch in Programmplanungsmodellen verwenden. 2)

Die Maximierung einer Ersatzzielgröße statt des Ursprungsziels ist solange ohne Beeinträchtigung der Modelllösung möglich, solange gesichert ist, daß die Ersatzzielgröße eine monotone Transformation der ursprünglichen Zielvariablen darstellt. 3) Dies setzt natürlich eine Beachtung der Nebenbedingungen in beiden Modellen voraus. Inwieweit diese Möglichkeit der monotonen Transformierbarkeit für die einzelnen Ersatzzielgrößen angenommen werden kann, wird in der Investitionstheorie noch heftig diskutiert. 4) Diese theoretische Zulässigkeit einer Ersatzzielgröße ist aber nicht gleichzusetzen mit ihrer heuristischen Eignung zur Lösung bestimmter Investitionsprogrammplanungsprobleme. 5)

- 1) Zum Begriff vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 194 ff.
- 2) Vgl. z.B. Albach, H.; Investition und Liquidität, a.a.O., S. 101 ff., Jacob, H.; IP-Modelle der Investitionsplanung, in: WiSt 2. Jg. (1973), S. 210-213, 260-265, 310-316, 361-364
- Bitz, M.; Der interne Zinsfuß in Modellen zur simultanen Investitions- und Finanzplanung, in: ZfBf 29. Jg. (1977), S. 146-162, Messe, P./Gibrat, R.; Application of Linear Programming to Investments in the Electric Power Industry, in: MS, Vol. 3 (1957), S. 149-166
- 3) Vgl. Bitz, M.; Äquivalente Zielkonzepte zur simultanen Investitions- und Finanzplanung, in: ZfBf 28. Jg. (1976), S. 485-501, hier insbesondere S. 488
- 4) Nach der heute vorherrschenden Meinung wird diese Transformierbarkeit für den internen Zinsfuß abgelehnt, für den Kapitalwert hingegen angenommen. Vgl. für viele ebendort, S. 488 ff., Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 61-106, Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 199 ff., Stegel, Th.; Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen, Diskussionspapier Nr. 24, hirsq. vom Institut für Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Berlin 1976
- 5) Vgl. dazu Abschnitt 5.2

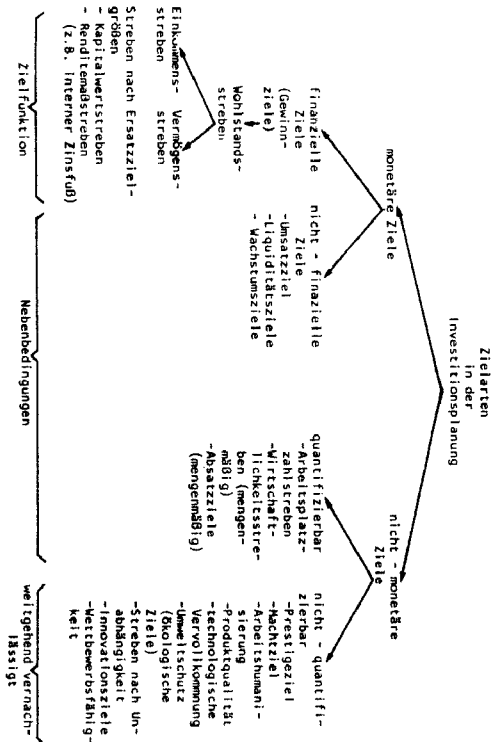


Abb. 9 : Zielarten in der Investitionsprogrammplanung

Neben finanziellen Zielen enthält das Zielsystem des realen Investors oftmals noch weitere monetäre Ziele. Dazu gehört das Streben nach Umsatz (oft auch in Form des Marktanteils)¹⁾, nach Meinung einiger Autoren auch das Streben nach Liquidität.²⁾ Von stetig steigender Bedeutung für die Investitionstätigkeit der Praxis sind nicht-monetäre Ziele.³⁾ "Diese Bestrebungen schlagen sich nicht unmittelbar quantifizierbar in der Geldsphäre der Unternehmung nieder."⁴⁾ Hierzu gehören Ziele wie Prestige und Macht des Investors, das Ziel nach Unabhängigkeit aber auch gesellschaftliche Ziele wie das Streben nach Arbeitsplätzen, nach humaner Arbeitsorganisation und nach Umweltschutz.

Die Einbeziehung solcher sozialer und gesellschaftlicher Ziele in das Zielsystem wird der Unternehmung zwar oft durch Formellen und informellen Druck der Gesellschaft oder einzelner gesellschaftlicher Gruppen 'aufgezwungen',⁵⁾

- 1) Vgl. Heinen, E.; Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, 1. Beitrag: Die Zielfunktion der Unternehmung, a.a.O., S. 27 ff.; zur Bedeutung in der Investitionsplanung vgl. Scheer, A.W.; Die industrielle Investitionsentscheidung, a.a.O., S. 125 ff., S. 137 ff. und S. 150 f. und Schneider, A.; Darstellung und Erklärungsansätze des Investitionsverhaltens industrieller Unternehmen - Eine empirische Untersuchung bei den Unternehmen der Maschinenbau- und Elektroindustrie im Wirtschaftsraum Nürnberg-Fürth-Erlangen, Diss. Nürnberg 1976, S. 95 f.
- 2) Vgl. z.B. Seiwert, L.; Das Zielsystem der Unternehmung, Studienblatt in WiSu 7. Jg. (1978). Allgemein wird unterschieden zwischen der Aufrechterhaltung eines finanziellen Gleichgewichts, die Vorbedingung für die weitere Existenz der Unternehmung ist und somit in unserem Sinne eine Umweltbedingung darstellt, und dem Streben nach einem Liquiditätsstatus, der über die reine Zahlungsfähigkeit hinausgeht und dann eine selbständige Zielsetzung darstellt, vgl. Vornbaum, H.; Das finanzwirtschaftliche Zielgewicht des Betriebes, im: ZfB 32. Jg. (1962), S. 65-81, hier S. 72
- 3) Zum Begriff vgl. Heinen, E.; Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, 1. Beitrag: Die Zielfunktion der Unternehmung, a.a.O., S. 30
- 4) ebendort
- 5) Vgl. Heinen, E.; Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, 1. Beitrag: Die Zielfunktion der Unternehmung, a.a.O., S. 32

nach erfolgter Aufnahme sind sie dann aber integraler Bestandteil des einzelwirtschaftlichen Zielsystems.¹⁾ Aufgrund der Bedeutung der Investitionsentscheidung ist der Druck gesellschaftlicher Gruppen auf Erweiterung oder Wandlung des Zielsystems hier besonders stark.²⁾ Entscheidungsmodelle als Ausprägung der Gestaltungsaufgabe der Betriebswirtschaftslehre, hier im Bereich der Investitionsplanung,³⁾ müssen bei der Ableitung von Verhaltensempfehlungen diese Ziele der realen Unternehmung berücksichtigen. "Allerdings darf die Forderung nach Übereinstimmung zwischen tatsächlicher Zielsetzung und Zielfunktion des Modells nicht überspannt werden. Die Vielfalt und Komplexität menschlicher Bedürfnisse und Motivationen läßt sich nicht ohne Verein-fachungen in einer Zielfunktion abbilden."⁴⁾ "Ein Entscheidungsmodell kann auch dann noch praktisch verwertbare Ergebnisse liefern, wenn seine Zielfunktion die Ziele des Entscheidenden nur zum Teil oder nur unvollständig zum Ausdruck bringt."⁵⁾

2.2.2.4 Restriktionen und Systembeziehungen

Die möglichen Zielerreichungsgrade werden beschränkt durch die in der Investitionsplanung zu beachtenden Restriktionen. Jedes alternative Investitionsprogramm beansprucht betriebliche Ressourcen (Kapital, Werkstoffe, Arbeitskräfte, Absatzmengen etc.). Die Knappheit dieser Faktoren begrenzt

- 1) Vgl. Heinen, E.; Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, 13. Beitrag: Zur Mitbestimmung bei Kapitaldispositionen, a.a.O., S. 345-362, hier S. 354
- 2) Beachte z.B. die gewerkschaftlichen und politischen Forderungen nach Investitionslenkung. Vgl. Sozialdemokratische Partei Deutschlands, Ökonomsch-pollitischer Orientierungsrahmen für die Jahre 1975-1985, Mannheim 1975, S. 41 ff.
- 3) Vgl. Heinen, E.; Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, 14. Beitrag: Wissenschaftsprogramm der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 378
- 4) Hay, H.; Bewertungsprobleme bei der Formulierung von Zielfunktionen, a.a.O., S. 749
- 5) Ebendort

die Menge der durchführbaren Investitionsprojekte und läßt überhaupt erst ein Entscheidungsproblem entstehen. "Ihren mathematischen Ausdruck finden diese die Investitionsstängkeit einschränkenden technologisch-ökonomischen Tabbestände in Restriktionsgleichungen bzw. -ungleichungen, die den Lösungsbereich der Zielfunktion einengen." 1)

Würde gleichzeitig mit der Investitionsplanung eine simultane Totalplanung aller Unternehmensaktivitäten vorgenommen, so wäre die Verfügbarkeit der benötigten Ressourcen allein durch die Umwelt der Unternehmung begrenzt. Durch die aus praktischen Gründen notwendige Zerlegung der Planung in Teilbereichsplannungen 2) entstehen zusätzliche Restriktionen, die die Vorgaben anderer Unternehmensbereiche abbilden. Die extern gesetzten Restriktionen der Investitionsstängkeit umfassen also Begrenzungen durch die Umwelt der Unternehmung wie auch des Umsatzsystems der Investitionsplanung.

Die Restriktionen können sowohl den Zahlungs- wie auch den Leistungsbereich der Unternehmung betreffen.

Liquiditätsbedingungen, die die finanziellen Ressourcenwirkungen der Handlungsmöglichkeiten den verfügbaren Finanzmitteln gegenüberstellen, sichern das finanzielle Gleichgewicht und damit die Existenz der Unternehmung. Zusätzlich können spezielle Nebenbedingungen die Einhaltung bestimmter Finanzierungsstrukturregeln sichern, sofern dieses

1) Rohde, M.: Zur Planung optimaler Investitionsprogramme - Darstellung und Kritik der Modellsätze, Unveröffentlichte Diplomarbeit Freie Universität Berlin 1968

2) Vgl. Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre III, a.a.O., S. 371 ff.

von Kapitalgebern verlangt wird. 1)

Leistungswirtschaftliche Restriktionen werden in den Ansätzen in unterschiedlicher Weise berücksichtigt: Kapitaltheoretische Modelle rechnen den Investitionsprojekten eindeutige Gütermengen zu und beachten auf dieser Basis Beschränkungen etwa der Absatz- und Beschaffungsmengen. 2)

Produktionstheoretische Modelle bilden leistungswirtschaftliche Entscheidungsvariable explizit ab und beschränken deren mögliche Wertausprägungen durch entsprechende Restriktionen. 3)

Die Beschränkung einer Aktionsvariable kann nicht nur explizit durch einen fest vorgegebenen Wertebereich, zum Beispiel durch Absatzgrenzen oder Kreditobergrenzen gegeben sein, sondern sich auch aus der Zielsetzung des Modells ergeben. So kann der Kapitalmarkt weit mehr Kredit bereitstellen als die Unternehmung benötigt, jedoch liegen die Kreditkosten ab einer bestimmten Grenze höher als die Rendite der damit realisierbaren Investitionsprojekte. Es liegt also kein Liquiditätsproblem, sondern ein Rentabilitätsproblem vor. 4) "Nicht die absolute Höhe des Kapitalangebots determiniert in diesem Falle den Umfang des Investi-

1) Vgl. dazu etwa Chambers, D.: The Joint Problem of Investment and Financing, in: OR quarterly Vol. 22 (1971), S. 261-295 - Waldmann, J.: Optimale Unternehmensfinanzierung - Modelle zur integrierten Planung des Finanzierungs- und Leistungsbereiches, Wiesbaden 1972, S. 141 ff. - Hamilton, W.F./Moses, M.A.: An Optimization Model for Corporate Financial Planning, in: OR Vol. 21 (1973), S. 677-691 sowie Baskar, K.: Linear Programming and Capital Budgeting: The Financing Problem, in: JBR Vol. 5 (1978), S. 159-194

2) Vgl. Albach, H.: Investition und Liquidität, a.a.O., S. 101 ff.

3) Vgl. dazu die Modelle von Förstner, K./Kern, R.: Dynamische Produktionsstheorie und Lineare Programmierung, Meisenheim/Glan 1957, S. 119 ff. - Jacob, H.: Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, a.a.O., - Schwoda, P.: Die simultane Planung von Rationalisierungs- und von Erweiterungsinvestitionen und von Produktionsprogrammen, a.a.O.

4) Zu den Begriffen vgl. Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 364

tionbudgets, sondern die Kosten der Kredite wirken als Bremsen für die Investitionstätigkeit der Unternehmung." ¹⁾

Auch im leistungswirtschaftlichen Bereich sind solche impliziten Nebenbedingungen denkbar. So mag es möglich sein, durch Einsatz des absatzpolitischen Instrumentariums die Absatzhöchstgrenze so weit hinauszuschieben, daß sie für das Unternehmen nicht mehr entscheidungsrelevant ist, nur werden dadurch überproportional steigende Kosten verursacht, die den Absatz unter Gewinnspekten nur bis zu einer gewissen Grenze lohnend erscheinen lassen. ²⁾ In der Realität wird auf eine solche Ressourcenverteilung in der Regel eine explizite Beschränkung folgen; kann ein Unternehmen kann unbeschränkt Kredite aufnehmen, Produkte absetzen oder Rohstoffe beschaffen.

In Planungsmodellen haben Restriktionen in Form von Gleichungen bzw. Ungleichungen weiterhin die Aufgabe, die technologischen und ökonomischen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Entscheidungsvariablen abzubilden. So werden im Leistungsbereich durch Kapazitätsbedingungen die Zusammenhänge zwischen investierten Aggregaten und produzierten Mengen, die Zusammenhänge innerhalb einer mehrstufigen Fertigung etc. erfaßt. Die Berücksichtigung solcher interner Systembeziehungen ist auch im finanziellen Bereich notwendig. ³⁾ Es geht dabei darum, die zahlungswirksamen Vorgänge zu erfassen und die Höhe und Fristigkeit der jeweils

- 1) Vgl. Albach, H.; Investition und Liquidität, a.a.O., S. 186
- 2) Vgl. einen entsprechenden Ansatz bei Jacob, H.; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O., S. 43 ff.
- 3) Vgl. Rosenberg, O.; Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Totalplanung, a.a.O., S. 53 ff.

ausgelösten Zahlungsströme zu bestimmen. Dabei kann die Höhe der jeweiligen Zahlung entweder einer bestimmten Aktivität (Produktionsleistung dem abgesetzten Erzeugnis) oder von einer Menge betrieblicher Handlungen abhängen (Ertragsteuerzahlungen). Während im ersten Beispiel keine zusätzliche Nebenbedingung notwendig ist, muß zur Erfassung der Steuerzahlungen eine separate Systembeziehung definiert werden, die den Zusammenhang zwischen im Modell abgebildeten Handlungsmöglichkeiten und der Besteuerung abbildet. ¹⁾

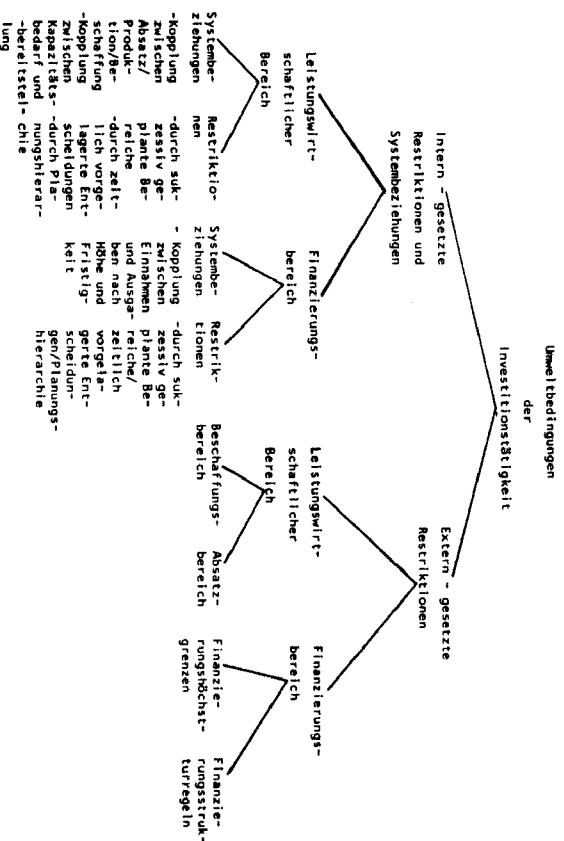


Abb. 10: Restriktionen und Systembeziehungen in der Investitionsprogrammplanung.

1) Vgl. zu einer alternativen Erfassung der Steuerpflichtigkeiten Grundmann, H.-R.; Optimale Investitions- und Finanzplanung unter Berücksichtigung der Steuern, Diss. Hamburg 1973

2.2.2.5 Der Planungszeitraum des Investors

Ein weiteres Merkmal, durch das sich die verschiedenen Entscheidungsmodelle zur Investitionsprogrammplanung unterscheiden, ist die Abbildung des Planungszeitraums.

Die Investitionsplanung ist eine langfristige Planung des Unternehmens. ¹⁾ Dieser Aspekt umfaßt (1) die zeitliche Erstreckung der Handlungskonsequenzen eines Investitionsobjektes über einen langen Zeitraum, (2) die Länge einer einzelnen Abrechnungsperiode ²⁾ in diesem Planungszeitraum und (3) die Einplanung von erst längerfristig möglichen Handlungsalternativen bei der heutigen Planung.

Die ökonomischen Nutzungsdauern von Investitionsobjekten und damit die wirtschaftlich relevanten Handlungskonsequenzen umfassen heute trotz technologischen Fortschritts oft mehr als ein Jahrzehnt. ³⁾ Der Wirkungshorizont ⁴⁾ eines heute aufzustellenden Investitionsprogramms würde also u.U. das Ende dieses Jahrhunderts erreichen, ggf. sogar überschreiten. Aufgrund der Informationsgewinnungsschwierigkeiten und -kosten bei so langen Zeiträumen, muß die detaillierte Erfassung der von den Aktionen ausgelösten Handlungskonsequen-

- 1) Vgl. Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 4 f
- 2) Zum Begriff vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 49 ff. und S. 165 f.
- 3) Selbst in der von der technologisch besonders fortgeschrittenen Luftverkehrsbirande werden heute Flugzeuge etwa 15 Jahre genutzt.
- 4) Zum Begriff vgl. Bitz, M.; Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 195

zen auf einen kürzeren Ergebnishorizont ¹⁾ beschränkt werden. Von diesem Zeitraum, in dem die Ziel- und Ressourcenwirkungen detailliert im Modell abgebildet werden, ²⁾ ist der Zeitraum zu unterscheiden, für den eine Einbeziehung alternativer Aktionen in das Entscheidungsmodell möglich ist.

Dieser Zeitraum wird von Bitz als Planungshorizont bezeichnet. ³⁾ Die Investitionsliteratur geht zumeist davon aus, daß Ergebnishorizont und Planungshorizont identisch seien und bezeichnet diesen Zeitraum als Planungszeitraum. ⁴⁾

- 1) Vgl. Bitz, M.; Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 195
- 2) Ist der zeitliche Erstreckungszeitraum der Zielwirkung länger als die Periode für die die Ressourcenwirkungen detailliert in den Nebenbedingungen abgebildet werden, so determiniert dieser kürzere Zeitraum den Ergebnishorizont, der Erstreckungszeitraum der Zielgröße den Wirkungshorizont. So umfaßt beim klassischen 'Lorie-Savage-Problem' der Ergebnishorizont nur zwei Perioden, da nur in diesen Perioden die Liquidität durch Nebenbedingungen gesichert ist, während der unterstellte Berechnungszeitraum für die Zielgröße 'Kapitalwert' den Wirkungshorizont bestimmt. Vgl. Lorie, J.H./Savage, L.J.; 'Three Problems in Rationing Capital', a.a.O., S. 232 ff.
- 3) Vgl. Bitz, M.; Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 192 ff.
- 4) Vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 44 ff. und Kern, W.; Investitionsrechnung, Stuttgart 1974, S. 80

Bezeichnung	Angegebener Sachverhalt
Aktionshorizont	Bis zu welcher Periode werden Aktivitäten der betrachteten Art von der Unternehmung vorgenommen und in der Planung berücksichtigt.
Planungshorizont	Bis zu welcher Periode werden Handlungsmöglichkeiten differenziert im Modell abgebildet.
Ergebnishorizont	Bis zu welcher Periode werden die Handlungskonsequenzen differenziert im Modell erfaßt.
Wirkungshorizont	Bis zu welcher Periode erstrecken sich die Handlungskonsequenzen der im Planungshorizont erfaßten Handlungsalternativen.

Abb. 1¹⁾ : Komponenten des Planungszeitraums nach Bitz

In der Praxis hingegen wird diese Unterscheidung offenbar vorgenommen. Nur so sind empirische Aussagen zu erklären, "daß die Investitionspläne zu ca. 90 % kurzfristigen und zu ca. 66 % mittel- oder langfristigen Charakter haben, wobei die letzteren oft in Ergänzung zu kurzfristigen Plänen erstellt werden"²⁾ Der Planungshorizont bei der Aufstellung des Investitionssets in der Praxis umfaßt in der Regel ein bis zwei Jahre, nur selten werden Investitionspläne für bis zu 10 Jahren aufgestellt.³⁾

- 1) Vgl. Bitz, M.; Die Strukturierung von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 195
- 2) Meier, R.E.; Planung, Kontrolle und Organisation des Investitionsentscheidendes, Bern-Stuttgart 1970, S. 85
- 3) Vgl. Gutenberg, E.; Untersuchungen über die Investitionsentscheidungen industrieller Unternehmen, Köln 1959, S. 171

In Investitionsprogrammplanungsmodellen wird selten explizit,¹⁾ meistens implizit zwischen Planungs- und Ergebnishorizont unterschieden. So werden oft nur die Handlungsmöglichkeiten der ersten Abrechnungszeiträume des Ergebnishorizonts im Modell abgebildet.

Im Verhältnis von Ergebnis- und Wirkungshorizont unterscheidet die Investitionstheorie zwei Situationen:

1. Die ökonomische Nutzungsdauer der am längsten wirkenden Alternative (= Wirkungshorizont) entspricht dem Ergebnishorizont. In diesem Fall brauchen im Entscheidungsmodell keine Annahmen über die Handlungskonsequenzen nach Ablauf des Ergebnishorizontes gemacht zu werden, da das Modell alle Wirkungen detailliert berücksichtigt.

2. Im Normalfall ist der Wirkungshorizont allerdings länger als der Ergebnishorizont; einige Objekte des heute aufzustellenden Investitionsprogramms führen zu Handlungskonsequenzen, die sich zeitlich soweit erstrecken, daß sie im Entscheidungsmodell nicht mehr detailliert erfaßt werden können. In diesem Fall kann im Entscheidungsmodell wie folgt verfahren werden:

- Durch Pauschalannahmen wird versucht, diese Wirkungen jenseits des Ergebnishorizonts zu erfassen. Einfach, aber theoretisch unbefriedigend ist der Ansatz eines

1) Vgl. Kruschwitz, I./Fischer, J.; Simultane Investitions- und Finanzplanung mit heuristischen Methoden, Unveröffentlichtes Manuskript eines Vortrages auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Operations Research, Berlin 1978

Restnutzenwertes, z.B. eines fiktiven Restwertes für ein Investitionsprojekt, der den voraussichtlichen Nutzen im restlichen Zeitraum berücksichtigen soll.¹⁾ Sinnvoller ist der Versuch, z.B. die Zahlungsreihen der Projekte jenseits des Ergebnishorizonts grob abzuschätzen und diese mit einem Kalkulationszins zu einem Restkapitalwert abzuzinsen.²⁾

- Diese Wirkungen werden vernachlässigt. Normalerweise wird dazu die Fiktion einer "Unternehmung auf Zeit" unterstellt, einer Unternehmung, die nach Ablauf des Ergebnishorizontes ihre wirtschaftliche Tätigkeit einstellt und liquidiert wird.³⁾ Angesetzt wird eine Handlungskonsequenz, die sich bei Liquidation ergeben würde, zum Beispiel der geschätzte Liquidationserlös der Investition. Diese Verfahrensweisen sind nicht danach zu beurteilen, ob der 'ökonomisch richtige Wert' angesetzt wird, sondern danach, ob die Wirkungen dieser späten Handlungskonsequenzen auf das heute zu realisierende Investitionsprogramm richtig erfasst werden. Da diese Wirkungen in aller Regel gering sein dürften, ist der Einfluß von Fehlschätzungen meist ungefährlich.⁴⁾

- 1) Einen solchen Ansatz wählt Jacob, H.: Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O., S. 79 mit den sogenannten 'anteiligen Anschaffungskosten'.
- 2) Vgl. Hax, H.: Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O., S. 437 ff. und derselbe, Investitionstheorie, a.a.O., S. 91 ff.
- 3) Zum Begriff vgl. Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 45 und Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 14.
- 4) Vgl. Jacob, H.: Unsicherheit und Flexibilität, in: ZfB 44. Jg. (1974), S. 299-326, S. 403-448, S. 505-526, hier S. 447 f.

Welt wichtiger ist das Problem, in wieviele Abrechnungsperioden das Modell den Plan- bzw. Ergebnishorizont einteilt, da nur zu diesen Zeitpunkten die Handlungskonsequenzen erfaßt und die Umweltbedingungen beachtet werden. Im Grenzfall ist die Abrechnungsperiode mit dem Ergebnishorizont identisch, es handelt sich um ein Einperioden-, Zweizeitpunkt oder auch statisches Modell. Solche Modelle sind in der Investitionstheorie für Erklärungszwecke entwickelt worden,¹⁾ aufgrund der langfristigen Handlungskonsequenzen, deren zeitlich unterschiedlichen Anfall und der zeitlich-vertikalen Interdependenzen für die Investitionsplanung aber nicht brauchbar.²⁾

Praktische verwendbare Investitionsprogrammplanungsmodelle sind demgegenüber dynamische Modelle, die den Ergebnishorizont in mehrere Abrechnungsperioden unterteilen. Bei dynamischen Ansätzen muß sich mindestens eine der Variablen auf einen anderen Zeitraum beziehen als die übrigen; "die verschiedenen Perioden zugeordneten Variablen müssen funktional miteinander verbunden sein."³⁾ Nach dieser strengen Definition reicht es nicht aus, daß der Ergebnishorizont in mehrere Abrechnungsperioden unterteilt ist, also etwa eine dynamische Zielgröße⁴⁾ maximiert wird oder die Umweltbedingungen in mehr als einem Zeitpunkt beachtet werden;

- 1) Vgl. Hax, H.: Investitionstheorie, a.a.O., S. 62 ff. und Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 341 ff.
- 2) Anderer Meinung für einen der Investitionsplanung verwandten Bereich ist Jacob, H.: Zur Standortwahl der Unternehmung, in: Altwelt, K. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Strukturfragen - Festschrift zum 65. Geburtstag von K. Henzler, Wiesbaden 1967, S. 235-293, hier S. 261.
- 3) Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 49.
- 4) Etwa der Kapitalwert oder der Brückwert

ein Modell ist erst dann dynamisch, wenn der Planungshorizont mehr als eine Periode umfaßt und wenn im Modell durch entsprechende Beziehungen die zeitlich-vertikalen Interdependenzen berücksichtigt werden.

Bei der Unterstellung sicherer Erwartungen über die Zukunft kann es aus Gründen der Komplexitätsreduktion des Modells sinnvoll sein, nur die Aktionen der unmittelbar bevorstehenden Entscheidungszeitpunkte detailliert im Modell abzubilden und die Handlungsmöglichkeiten nach dem Planungshorizont durch Pauschalannahmen zu erfassen. Dabei bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten: "One is to assume that other than the continuing existence of financial markets, nothing is known about post-horizon opportunities and value the firm on that premise. The second is to assume that the same mix of opportunities will continue into the future as occur pre-horizon."¹⁾

Bei der Berücksichtigung unsicherer Erwartungen über die möglichen Umweltkonstellationen und Handlungsmöglichkeiten ergibt sich die Unterteilung in detailliert abbildbare und nur ungenau erfassbare Aktionen aus den Charakteristika der Entscheidungssituation. "Da sich der Informationsstand im Zeitablauf verbessert, ist es nicht sinnvoll, bei der Planungstellung schon endgültig und unwiderruflich die zukünftigen Aktionen festzulegen."²⁾ Auf der anderen Seite ist es zur Berücksichtigung der zeitlich-vertikalen Abhängigkeiten des heute zu realisierenden Aktionsprogramms von später-

1) Ashton, D.J./Atkins, D.R.: *Horizon Valuations for Mathematical Programming in Financial Planning*, in: J.Opl.Res.Soc. Vol. 30 (1979), S. 625-631

2) Laux, H.: *Flexible Investitionsplanung - Einführung in die Theorie der sequentiellen Entscheidungen bei Unsicherheit*, Opladen 1971, S. 13

ren Handlungsmöglichkeiten notwendig, diese im Planungsprozess zu berücksichtigen.¹⁾ "Der Ausweg aus diesem Dilemma ist, daß man zukünftige Aktionen zwar plant, aber nicht in der Weise, daß man sich eindeutig festlegt, sondern so, daß die zukünftigen Aktionen von den bis zu ihrer Durchführung eingehenden Informationen abhängig gemacht werden. Es entsteht so ein System bedingter Teilpläne, deren Realisierung von der zukünftigen Entwicklung abhängt."²⁾ Gewissermaßen wird bei dieser sequentiellen oder auch flexiblen Planung³⁾ der Aktionshorizont⁴⁾ in mehrere Planungshorizonte mit sich überlappenden Ergebnis- und Wirkungshorizonten aufgeteilt. Die in den späteren Planungshorizonten möglichen Aktionsprogramme werden zwar jeweils detailliert geplant, haben in ihrer Gesamtheit für die heute notwendige Entscheidung aufgrund der Unsicherheit der Umweltkonstellationen und der künftig zur Auswahl stehenden Alternativen sowie der damit zusammenhängenden Gewichtung gemäß subjektiver Eintrittswahrscheinlichkeiten nur den Charakter von Pauschalannahmen über die Zukunft. "Die simultane Ermittlung des Aktionsprogramms 2 (oder der Aktionsprogramme 2) geschieht nicht deshalb, um festzulegen, welche Aktionen zu Beginn

1) Vgl. dazu Jacob, H.: *Unsicherheit und Flexibilität*, a.a.O., S. 300 ff. und Hax, H.: *Investitionstheorie*, a.a.O., S. 165 f.

2) Hax, H.: *Investitionstheorie*, a.a.O., S. 166

3) In der deutschen Literatur ist der Begriff "flexible Planung" gebräuchlich. Vgl. etwa Laux, H.: *Flexible Investitionsplanung*, a.a.O., und Hax, H.: *Investitionstheorie*, a.a.O., S. 165 ff. - Zur Kritik daran vgl. Schneider, D.: *Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewißheit*, in: *ZfBf* 23. Jg. (1971), S. 831-851 und derselbe: *"Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewißheit? In der Diskussion"*, in: *ZfBf* 24. Jg. (1972), S. 456-476 sowie Jacob, H.: *Unsicherheit und Flexibilität*, a.a.O., S. 437 f.

Der angloamerikanische Begriff "Sequential Investment Decisions" trifft meines Erachtens den Sachverhalt besser. Vgl. Gupta, S.K./Rosenhead, J.: *Robustness in sequential investment decisions*, in: *MS Vol.* 15 (1968), S. B18-29 und Gyert, R.M./de Groot, M.H./Holt, C.A.: *Sequential Investment Decisions with Bayesian Learning*, in: *MS Vol.* 24 (1977), S. 712-718

4) Zum Begriff vgl. Abb. 11

der Periode 2 tatsächlich verwirklicht werden sollen, sondern dient lediglich dem Zweck, die zwischen den Programmen der beiden Perioden bestehenden relevanten zeitlich-vertikalen Interdependenzen zu erfassen und ihre Wirkung auf das Aktionsprogramm 1 gebührend berücksichtigen zu können." ¹⁾

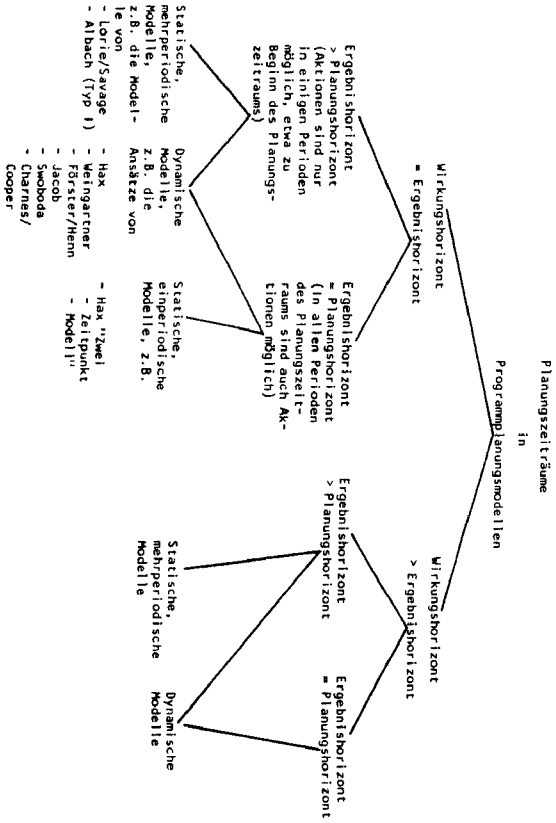


Abb. 12 : Strukturierung von Investitionsprogrammplanungsmodellen nach den Aspekten des Planungszeitraums

1) Jacob, H.; Unsicherheit und Flexibilität, a.a.O., S. 439

2.2.2.6 Zusammenfassung der Elemente in einem morphologischen Kasten und Einordnung ausgewählter Modelle der Investitionsprogrammplanung

Die oben entwickelten Strukturelemente von Investitionsprogrammplanungsmodellen sollen abschließend in einem morphologischen Kasten zusammengefaßt werden. Der morphologische Kasten ist eine Matrix, in deren Vorspalte die unterschiedlichen Merkmale eines Gegenstandes, hier von Programmplanungsmodellen, stehen und in deren Zeilen die möglichen Ausprägungen des jeweiligen Merkmals stehen. ¹⁾ "Mit dieser Matrix sollen alle Kombinationsmöglichkeiten von Bestimmungsmerkmalen und Erscheinungsformen aufgefunden und sichtbar gemacht werden." ²⁾ Zusätzlich bietet dieser morphologische Kasten die Möglichkeit, ausgewählte Investitionsprogrammplanungsmodelle zu klassifizieren und ihre Unterschiede zu verdeutlichen. Auf eine Darstellung der verschiedenen Modellen sei in dieser Arbeit verzichtet, sie sind in der Literatur umfangreich beschrieben. ³⁾

1) Vgl. Ropohl, G.; Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der morphologischen Methode in Forschung und Entwicklung, in: WlSt 1. Jg. (1972), S. 495-499, S. 541-546, hier S. 497 f.

2) Pfohl, H.-C.; Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 121

3) Vgl. z.B. die zusammenfassenden Darstellungen in den Lehrbüchern von Bloch, H./Fidler, K.; Investition, a.a.O., S. 230 ff.; Hax, H.; Investitionstheorie, a.a.O.; Kern, W.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 261 ff.; Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 133 ff. und die Darstellungen von Seelbach, H.; Planungsmodelle in der Investitionsrechnung, a.a.O.; Schweim, J.; Integrierte Unternehmensplanung, a.a.O.; Blumentrath, U.; Investitions- und Finanzplanung mit dem Ziel der Endwertmaximierung, Wiesbaden 1969; Wegener, H.; Die Optimierung linearer Investitions- und Finanzplanungsmodelle mit ausgewählten Verfahren der ganzzahligen Programmierung, Diss. Göttingen 1973 sowie die Originalquellen der jeweiligen Ansätze

Merkmalausprägungen						
	1	2	3	4	5	6
A. Handlungsobjekt Ar. Art der Handlungsobjekt	Finanzwirtschaftl. Modelle	Investitionen	Investitionen	Investitionen	Investitionen	Finanzwirtschaftl. Modelle
B. Handlungsquantum B. Sicherheit der Umwelt	Sicherheit	Unsicherheit	Risiko			
Ba. Anzahl der Zielwirkungen	eine	mehrere				
Bb. Art der Zielwirkungen	quantitativ (kardinal messbar)	quantitativ (nur ordinal messbar) oder qualitativ	Sonstige			
Bc. Überbarkeit der Zielwirkungen	direkt	nur indirekt möglich	z.T. direkt z.T. indirekt			
Bd. Anzahl der Ressourcenwirkungen	eine	mehrere				
Be. Art der Ressourcenwirkungen	quantitativ	quantitativ u. qualitativ				
Be.I. Art der quantitativen Ressourcenwirkungen	finanzielle Wirkungen	Leistungs- u. Leistungs-wirtschaftl. Wirkungen	finanzielle u. Leistungs-wirtschaftl. Wirkungen			
C. Entscheidungsziel Ca. Anzahl d. Ziele	ein Ziel	mehrere Ziele				
Cb. Art der Ziele und ihre Abklärung (Zielerklärung)	ein zu erklärendes Ziel in der Zielbank-Liste, ggf. zu erklärendes Ziel in der Zielbank-Liste in Nebenbedingungen	mehrere zu erklärende Ziele in der Zielbank-Liste, ggf. zu erklärendes Ziel in Nebenbedingungen	allein zu erklärende Ziele in der Zielbank-Liste			
Cc. Inhalt der Ziele	finanzielle Ziele	finanzielle Ziele und sonstige monetäre Ziele	sonstige monetäre Ziele	qualitative Ziele	quantitative u. qualitative Ziele	
Cd. Inhaltlicher Stellenwert der Ziele	Übertragungsvariable, monetäre Nebenbedingung	Abstrakte, monetäre Nebenbedingung	Realwertvariable, monetäre Nebenbedingung	Realwertvariable, monetäre Nebenbedingung	Realwertvariable, monetäre Nebenbedingung	
D. Umwandlungsbedingungen Da. Anzahl d. Umwandlungsbedingungen	eine	mehrere				
Dd. Art der Umwandlungsbedingungen	quantitative Bedingungen	qualitative Bedingungen	quantitative u. qualitative Bedingungen			

Da.I. Art der quantitativen Umwandlungsbedingungen	finanzielle Bedingungen	leistungswirtschaftl. Bedingungen	Finanzproduktwirtschaftl. u. leistungs-wirtschaftl. Nebenbedingungen			
Dc. Art der Bedingtheit	absolute Höchstgrenze	Resourcenverdeckung	Kombination von Ressourcen und Höchstgrenze			
E. Planungszeitraum Ea. Länge des Ergebnis-horizontes (bzw. dessen Unterteilung)	eine Abrechnungsperiode	mehrere Abrechnungsperioden				
Eb. Länge des Planungs-horizontes (bzw. dessen Unterteilung)	eine Abrechnungsperiode	mehrere Abrechnungsperioden				
Ec. Verteilung von Ergebnis- und Planungs-horizont	Planungs-horizont = Ergebnis-horizont (Aktionen sind nur in einzigen Per-ioden des Ergebnis-horizontes möglich)	Planungs-horizont = Ergebnis-horizont (Aktionen sind in allen Perio-den des Ergebnis-horizontes möglich)				
Ed. Berücksichtigung evtl. Handlungs-sequenzen nach dem Ergebnis-horizont im jeweiligen Mikrozeitraum	detaillierte Erfassung d. sequenziellen Zusammenhang der Ressourcenwirkungen	pauschale Erfassung aller Wirkungen	Vernachlässigung der Wirkungen			

Abb. 13 : Morphologischer Kasten für Modelle zur Planung von Investitionsprogrammen

Der morphologische Kasten will die in der Literatur vorgeschlagenen Ansätze sinnvoll klassifizieren helfen, sein Ziel ist nicht die Entwicklung neuer Modelle. Er erfüllt daher auch nicht die strengen theoretischen Anforderungen, wie z.B. Vollständigkeit²⁾ oder Ausschließlichkeit der Merkmalsausprägungen.

Betrachtet und klassifiziert werden sollen im folgenden drei Investitionsprogrammplanungsmodelle, die heute in der Betriebswirtschaftslehre allgemein als 'gute Beispiele' der jeweiligen Modellkategorie akzeptiert werden und Grundlage für das weiter unten entwickelte, in dieser Arbeit verwendete Modell sind:

1. Das Modell von Hax³⁾ ist ein Ansatz der sogenannten 'simultanen Investitions- und Finanzplanung'. Es enthält als Handlungsmöglichkeit Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten (Merkmalsausprägung Aa2) und bildet diese sämtlich detailliert ab. ⁴⁾ (Ab 1). Es unterstellt Sicherheit der Umwelt (Ba1), betrachtet nur eine, den

- 1) Vgl. Repohl, G.; Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der morphologischen Methode in Forschung und Entwicklung, a.a.O., S. 497 ff. und Schlicksupp, H.; Kreative Ideenfindung in der Unternehmens-Methoden und Modelle, Berlin/New York 1977, S. 69 ff.
- 2) Diese läßt sich durch Einfügung des Attributs 'Sonstige' in jeder Zeile aber leicht herstellen.
- 3) Vgl. Hax, H.; Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O.; vgl. auch Blöhm, H./Ficker, K.; Investition, a.a.O., S. 244 ff. und Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 162 ff. Das Modell entspricht in seinen wesentlichen Eigenschaften dem Modell von Weingartner, H.M.; Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems, a.a.O., S. 160 ff.
- 4) Dies ist einer der wesentlichen Unterschiede zum Modell von Albach. Vgl. Hax, H.; Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O., S. 434 ff.

Handlungsalternativen direkt zurechenbare, quantitative Zielwirkung (Ba1, Bb1, Bc1, Bd1) und ebenfalls nur eine, quantitative und finanzielle Ressourcenwirkung (Be1, Bf1, Bf1). Das Modell verfolgt ein zu extremierendes finanzielles Ziel (Ca1, Cb1, Cc1), das alternativ eines der abgeleiteten Zielsetzungen Einkommensstreben oder Vermögensstreben ist (Cci2). Das Modell beachtet eine Umweltbedingung, nämlich die Liquiditätsbedingung in allen Perioden des Ergebnishorizontes (Da1, Db1, Dbi1). Es wird ein unvollkommener, beschränkter Kapitalmarkt unterstellt; ¹⁾ die mögliche Finanzmittelaufnahme ist also sowohl durch Ressourcenverteilung wie auch durch eine absolute Höchstgrenze beschränkt (Dc3). Das Modell umfaßt einen Ergebnishorizont von mehreren Perioden (Ea1); planungs- und Ergebnishorizont sind identisch (Eb2, Ec2). Falls der Wirkungshorizont größer als der Ergebnishorizont ist, werden die Zielwirkungen pauschal durch den Kapitalwert erfaßt (E2).

2. Das Modell von Jacob²⁾ ist demgegenüber ein Modell der 'simultanen Investitions- und Produktionsprogrammplanung'. Seine Handlungsalternativen sind demzufolge Investitionen und Produktmengen ³⁾, zusätzlich auch Desinvestitionen und Produktmengen.
- 1) Vgl. Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 58 f.
- 2) Vgl. Jacob, H.; Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, a.a.O. und derselbe, Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O., S. 9-72. Hierauf beziehen sich die Seitenzahlen.
- 3) In der Ursprungsform verwendet das Modell die Produktionszeiten zur Herstellung eines bestimmten Produktes auf einer bestimmten Anlage als Variable. Wir verwenden die Modifikation von Seelbach, H.; Planungsmodelle in der Investitionsrechnung, a.a.O., S. 17 ff. Vgl. auch Blöhm, H./Ficker, K.; Investition, a.a.O., S. 247 ff.

- vestitionen, wodurch gleichzeitig eine Planung der Nutzungsdauer der Investitionsobjekte erfolgt (Aa4). Das Modell bildet alle leistungswirtschaftlichen Aktionsvariablen detailliert ab,¹⁾ im finanzwirtschaftlichen Bereich macht das Modell Pauschalannahmen.²⁾ (Ab4). In seiner Grundform unterstellt das Modell Sicherheit der Umwelt (Ba1).³⁾ Betrachtet werden mehrere quantitative Zielwirkungen der Handlungsalternativen, die diesen z.T. direkt (z.B. die Anschaffungskosten und die anlagenfixen Kosten der Investitionsprojekte), z.T. indirekt (z.B. die durch eine Investition möglichen Produktverluste) zurechenbar sind (Bb2, Bc1, Bd3). Ebenso werden mehrere, sowohl finanzielle wie auch leistungswirtschaftliche Ressourcenauswirkungen abgebildet (Be2, Bf1, Bf13). Das Modell maximiert ein finanzielles Ziel (Ca1, Cb1, Cc1). Abgebildet wird entweder das Stellvertreterziel 'Kapitalwert' oder aber ein Gesamtgewinn, der weitgehend dem abgeleiteten Ziel 'Vermögensstreben' entspricht.⁴⁾ (Cc12/3). Beachtet werden mehrere quantitative Umweltbedingungen, aus dem finanziellen (Liquiditätsbedingung) und leistungswirtschaftlichen Bereich (Absatzbedingung) (Da2, Db1, Db13). In der Grundform beachtet das Modell
- 1) Für die praktische Lösung schlägt Jacob, H.; Investitionsplanung mit Hilfe der Optimierungsrechnung, a.a.O., S. 103 eine sachliche und zeitliche Pauschalierung vor. Vgl. auch die von Jacob, H.; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O. durchgeführten Beispielerrechnungen
 - 2) In Modelltyp I wird ein Kapitalwert maximiert, dessen Kalkulationszins alle möglichen Ergänzungsinvestitionen und -kredite symbolisiert. Modelltyp II führt explizit eine einjährige Finanzinvestition ein.
 - 3) Weiterentwicklungen heben diese Prämisse auf. Vgl. Jacob, H.; Flexibilitätsoberlegungen in der Investitionsrechnung, in: ZfB 37. Jg. (1967), S. 1-34, derselbe; Zum Problem der Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen, in: ZfB 37. Jg. (1967), S. 153-187 und derselbe; Unsicherheit und Flexibilität, a.a.O.
 - 4) Vgl. Jacob, H.; IP-Modelle der Investitionsplanung, a.a.O., S. 361 ff.

- absolute Höchstgrenzen, die Absatzgrenze ist in einer Erweiterung bei überproportional steigenden Kosten durch Einsatz des absatzpolitischen Instrumentariums verschiebbar (Dc1/3). Abrechnungs- und Ergebnisperioden sind beide gleichlang und in mehrere Abrechnungsperioden unterteilt (Ea2, Eb2, Ec2). Die Berücksichtigung evtl. Handlungskonsequenzen nach dem Ergebniszeitraum erfolgt durch den Ansatz pauschaler 'Restnutzenwerte'. (Ed2).
3. Das Modell von Schweim berücksichtigt, "daß eine sinnvolle Investitionsplanung ohne Beachtung bestimmter Eigen- und Fremdfinanzierungsmöglichkeiten nicht durchgeführt werden kann"¹⁾ und führt deshalb die Bestimmung optimaler Investitions- und Produktionsprogramme simultan mit der Auswahl optimaler Finanzierungsaktionen durch (Aa5). Das Modell bildet die einbezogenen Handlungsmöglichkeiten detailliert ab (Ab1). In der Grundform unterstellt das Modell Sicherheit aller Handlungskonsequenzen (Ba1). Schweim untersucht allerdings auch Möglichkeiten wie unsichere Erwartungen über die Zukunft durch alternative Lösungstechniken berücksichtigt werden können.²⁾ Das Modell berücksichtigt mehrere, quantitativ erfassbare Zielwirkungen, die den Handlungsalternativen wie beim Jacob-Modell zum Teil direkt, zum Teil nur indirekt zugerechnet werden können (Bd2, Bc2, Bd3). Die Handlungsalternativen bewirken mehrere Ressourcenauswirkungen Leistungs- und finanzwirtschaftlicher Art (Be2, Bf1, Bf13), so z.B. die Wirkungen der Investitionsobjekte auf die Kapazitäts- und Finanzsituation der Unternehmung. Die beiden Zielsetzungen des Modells sind mone-
- 1) Schweim, J.; Integrierte Unternehmensplanung, a.a.O., S. 76
 - 2) derselbe, S. 106 ff.

tärer Art (Ca2, Cc2). Zu maximieren ist das Vermögen am Ende des Ergebniszeitraums (Cc12), daneben ist ein Mindestbestand an Kasse oder anderen schnell liquidierbaren Mitteln zu halten, um dem Streben des Unternehmers nach Sicherheit Rechnung zu tragen ¹⁾²⁾ (Cb1).

Beachtet werden müssen bei der Verfolgung des Ziel-systems mehrere Umweltbedingungen finanzieller und leistungswirtschaftlicher Art, zusätzlich können institutionelle Bedingungen wie die Einhaltung bestimmter Bilanzstrukturregeln berücksichtigt werden (Da2, Db1, Dc4). Abgebildet sind jeweils die von der Umwelt des Unternehmens zugelassenen, absoluten Höchstgrenzen (Dc1).

Hinsichtlich des Planungszeitraums entspricht das Modell weitgehend dem von Jacob formulierten. Aktions- und Ergebniszeitraum sind identisch und umfassen jeweils mehrere Abrechnungsperioden (Ea2, Eb2, Ec2), ein evtl. längerer Wirkungshorizont kann durch den Ansatz pauschaler Restnutzenwerte ³⁾ annähernd erfäßt werden (Ed2).

- 1) Vgl. Schweim, J.: Integrierte Unternehmensplanung, a.a.O., S. 83
- 2) Diese Zielsetzung entspricht zwar nicht der Prämisse "Sicherheit der Handlungskonsequenzen", doch in strenger Form kann man dies auch von den Finanzierungsbedingungen behaupten. Wer wollte - bei Wegfall des Risikos - einen Unternehmer schon Kredit verweigern? Vgl. Swohoda, P.: Buchbesprechung zu: Huber, P.: Zur Problematik der Formulierung entnahmestromorientierter Zielfunktionen von integrierten Investitions-, Finanzierungs- und Produktionsplanungsmodellen, Wien 1977, in: ZfB 48 Jg. (1978), S. 1017
- 3) Vgl. Schweim, J.: Integrierte Unternehmensplanung, a.a.O., S. 79

Alle drei Modelle sind für eine Lösung mit gemischt-ganzzahligen, linearen Optimierungsverfahren konzipiert. Bei einer beabsichtigten Lösung mit anderen Methoden, ¹⁾ wären unter Umständen erhebliche Modifikationen am formalen Modelllaufbau notwendig, der betriebswirtschaftliche Gehalt der Modelle bliebe davon im wesentlichen unberührt.

1) Zu den alternativen Lösungsmethoden vgl. Abschnitt 2.3

2.3 Ein Modell zur Investitionsprogrammplanung bei sicheren Erwartungen

2.3.1 Aufgabe und Aufbau des Modells

Ziel der vorliegenden Arbeit ist nicht die Neu- oder Weiterentwicklung von Entscheidungsmodellen zur Investitionsprogrammplanung, sondern die Ableitung heuristischer Konzepte,¹⁾ die bei der Konstruktion und Lösung dieser Modelle den erforderlichen Planungsaufwand senken sollen.

Dennoch soll an dieser Stelle ein einfaches Modell zur simultanen Investitions-, Finanzierungs- und Leistungsprogrammplanung konzipiert werden, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Die Aussagen des letzten Abschnittes sollen an einem konkreten Beispiel verdeutlicht werden;
 2. Die Ableitung heuristischer Konstruktionsprinzipien und Lösungsverfahren setzt eine Spezifizierung des Problemverständnisses voraus;
 3. Es erscheint sinnvoll, zur Erläuterung des Umfangs von Investitionsprogrammplanungsmodellen und der damit zusammenhängenden informativischen und lösungstechnischen Probleme ein konkretes Modell zu verwenden;
 4. Ein Modell, das diese drei, gewissermaßen didaktischen Aufgaben erfüllen könnte, existiert nach Kenntnis des Verfassers in der Literatur bisher nicht; die dort vor-
- 1) Zum Begriff vgl. Meißner, J.D.: Heuristische Programmierung, Wiesbaden 1978, S. 9 f. und Abschnitt 4 der vorliegenden Arbeit.

gestellten Modelle haben entweder einen zu geringen oder einen zu hohen Komplexionsgrad.

Gegenstand des Modells ist die simultane Planung des Investitions-, Finanzierungs- und Leistungsprogramms einer Unternehmung. Entsprechend der "didaktischen" Aufgabe des Modells wird mehr Wert auf die Darstellung der Struktur der einzelnen Modellkomponenten und deren Beziehungen untereinander gelegt, während die konkrete Ausgestaltung der Komponenten möglichst einfach gehalten wird. Das gesamte Planungssystem besteht aus Teilmodellen.¹⁾ Diese Teilmodelle sind weitgehend unabhängig voneinander und lassen sich den spezifischen Problemerkfordernissen anpassen, ohne daß die anderen Komponenten in ihrem Aufbau davon berührt werden.

Besonders wichtig ist diese Selbstständigkeit bei den Teilmodellen des leistungswirtschaftlichen Systems: dem Beschaffungs-, Produktions- und Absatzmodell. Deren Aufbau hängt extrem stark von externen und internen Gegebenheiten der Unternehmung ab, so z.B. von dem Produktfeld,²⁾ dem jeweiligen Organisations- und Prozeßtyp der Fertigung³⁾ oder den Marktformen auf den Beschaffungs- und Absatzmärkten. Ein Unternehmen des Maschinenbaus benötigt beispielsweise eine andere Ausgestaltung des Entscheidungsmodells als eines der chemischen Industrie, ein Unternehmen mit

1) Zum Aufbau eines Entscheidungsmodells aus weitgehend selbstständigen Teilmodellen vgl. Mentzel, K./Scholz, M.: Integrierte Vertriebs-, Produktions- und Investitionsplanung, in: APf 12. Jg. (1971), S. 1 - 15

2) Zum Begriff vgl. Jacob, H.: Die Planung des Produktions- und Absatzprogramms, in: derselbe (Hrsg.): Industriebetriebslehre in programmierter Form, Band II: Planung und Planungsrechnung, Wiesbaden 1972, S. 39-260, hier S. 46 ff.

3) Zum Begriff vgl. Reichwald, C./Stewy, C.: Produktionswirtschaft, in: Heinen, E. (Hrsg.): Industriebetriebslehre, 2. a. O., S. 280-418, hier S. 304 f. - Vgl. auch von Kortzfleisch, G.: Systematik der Produktionsmethoden, in: Jacob, H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre in programmierter Form, Bd. 1, Wiesbaden 1972, S. 119-205

Einzelherfertigung eine andere als eines mit Massenfertigung usw.

Im Aufbau weit weniger von den spezifischen Gegebenheiten abhängig sind die Modelle des finanzwirtschaftlichen Bereiches, das Investitions- und Finanzierungsmodell. Diese Teilmodelle erfassen die durch die unternehmerischen Entscheidungen ausgelösten Zahlungsströme.

Die Abstimmung der Teilplanungsmodelle erfolgt in einem übergeordneten Zielmodell, das die Zielwirkungen der Handlungsalternativen der einzelnen Bereiche erfäßt und durch Abstimmungsvariable, die alle Ressourcenwirkungen der Alternativen eines Bereiches, die für andere Bereiche von Bedeutung sind, definieren. Abb.14 gibt einen Überblick über den Aufbau des Modells.

Aus der Abstimmung von Teilmodellen und der Notwendigkeit von Abstimmungsvariablen und Definitionsgleichungen folgt eine redundante Formulierung des Entscheidungsmodells.

Diese kann den Aufwand zur Lösung des Modells unter Umständen erheblich erhöhen. Ist eine solche Lösung beabsichtigt, ist die Aufspaltung gegebenenfalls rückgängig zu machen bzw. eine Dekomposition unter Beachtung der Eigenschaften des Lösungsverfahrens durchzuführen. ¹⁾ Folgende allgemeine Prämissen gelten für das gesamte Modellsystem:

1. Das Modell unterstellt sichere Erwartungen über die Zukunft, alle Handlungskonsequenzen getroffener Entscheidungen sind also eindeutig.

¹⁾ Vgl. dazu Abschnitt 2.4.2.4 und die dort angegebene Literatur

2. Das Modell betrachtet ausschließlich quantifizierbare Ziel- und Ressourcenwirkungen.
3. Maximiert wird ein finanzielles, abgeleitetes Ziel. Aufgestellt wird das Modell für den Fall der Vermögensmaximierung zum Ende des Ergebniszeitraumes (Endwertmaximierung). ¹⁾ Das Zielsystem des Investors kann daneben weitere, zu befriedigende Ziele enthalten.
4. Wirkungen der heute festgelegten Handlungsvariablen nach Ablauf des Ergebniszeitraumes werden vernachlässigt. Unterstellt wird also eine Unternehmung auf Zeit. ²⁾
5. Formuliert ist das Modell als linearer Programmierungsansatz. Die Linearitätsannahme aller abgebildeten Beziehungen ist insbesondere für den leistungswirtschaftlichen Bereich eine starke Vereinfachung. ³⁾

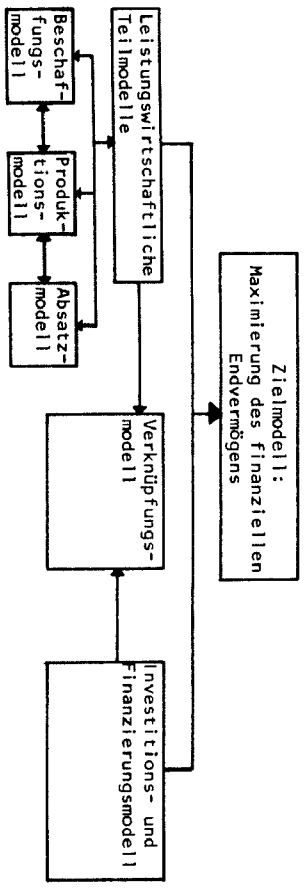


Abb. 14 : Aufbau des Investitionsprogrammplanungsmodells aus Teilmodellen

¹⁾ Die Abbildung des Zieltes Eritnahmemaximierung ist ohne Schwierigkeiten möglich. Vgl. dazu Hak, H.; Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O., S. 439 ff.

²⁾ Vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 182 ff.

³⁾ Vgl. Kilger, W.; Optimale Produktions- und Absatzplanung - Entscheidungsmodelle für den Produktions- und Absatzbereich industrieller Betriebe, Opladen 1973, S. 88 ff. und Wischer, P.; Simultane Produktions- und Absatzplanung - Rechnerische und organisatorische Probleme mathematischer Programmierungsmodelle, Wiesbaden 1967, S. 41 ff.

2.3.2 Die Elemente des Modells

2.3.2.1 Das Investitions- und Finanzierungsmodell

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht die simultane Planung des Investitions- und Finanzierungsprogramms.¹⁾ Aufgabe dabei ist die Aufstellung eines optimalen Finanzplans, so daß sowohl das (in der Regel finanzielle) Zielsystem maximiert wie auch die Liquidität der Unternehmung gesichert wird.²⁾ Im Rahmen der Investitionsplanung wird dabei zumeist implizit davon ausgegangen, daß die Liquidität nur für gewisse repräsentative Zahlungszeitpunkte durch das Modell gewährleistet wird³⁾ und das finanzielle Gleichgewicht innerhalb der einzelnen Teilperioden beispielsweise durch die kurzfristige Finanzplanung garantiert wird. Das vorgestellte Teilmodell entspricht weitgehend dem Vorschlag von Hax.⁴⁾ Es geht von folgenden Prämissen aus:⁵⁾

(1) Der Investor hat die Wahl zwischen n Investitionsobjekten und m Finanzierungsmaßnahmen. Jedes Projekt kann zu mehreren Zeitpunkten begonnen werden; neben dem Projektindex ist daher eine Kennzeichnung durch den Startzeitpunkt notwendig.

(2) Neben detailliert abgebildeten Handlungsmöglichkeiten existiert mindestens eine pauschal erfaßte "Ergänzungsmaßnahme" im Investitions- und Finanzierungsbereich.

- 1) Vgl. insbesondere Abschnitt 7
- 2) Vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 364
- 3) Vgl. Gutenberg, E.; Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band III: Die Finanzen, a.a.O., S. 360
- 4) Vgl. Hax, H.; Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O. und Abschnitt 2.2.3
- 5) Vgl. Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 142 f. und S. 162 f.

(3) Die Realisierung von Investitionen bzw. Finanzierungsmaßnahmen führt zu eindeutigen Handlungskonsequenzen, d.h. zu eindeutig zurechenbaren Zahlungsströmen. Insbesondere für Investitionen können weitere, nur indirekt zurechenbare Zahlungsströme existieren, deren Höhe in den leistungswirtschaftlichen Teilmodellen festgelegt wird.

(4) Der Investor wünscht, zu Beginn jedes Abrechnungszeitraums des Ergebnishorizontes liquide zu bleiben. Die Einnahmen aus Investitionsobjekten (soweit direkt zurechenbar) und aus Finanzierungsmaßnahmen müssen somit in diesen Zeitpunkten die Investitions- und Finanzierungsausgaben, den Zahlungssaldo aus dem Leistungsbereich sowie die vom Investor gewünschten Entnahmen decken.¹⁾

Weitere finanzielle Bedingungen, etwa eine Gesamterschuldungsgrenze oder die Einhaltung bestimmter Kapitalstrukturen sind im finanzwirtschaftlichen Teilmodell nicht zu beachten.²⁾

(5) Aus Vereinfachungsgründen werden steuerliche Aspekte in dem vorgestellten Modell nicht berücksichtigt.³⁾

- 1) Der Investor kann dabei auch Mittel in den Betrieb einbringen.
- 2) Die Erweiterung des Modells um weitere finanzielle Nebenbedingungen ist ohne grundsätzliche Änderungen möglich. Vgl. für viele Hax, H.; Investitionstheorie, a.a.O., S. 110 ff.
- 3) Eine isolierte Erweiterung des finanzwirtschaftlichen Teilmodells um Steuerzahlungen ist möglich. Vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 387 ff. und Laux, H.; Kapitalkosten und Ertragssteuern, Köln 1969, S. 167 ff. Zu bevorzugten wäre allerdings die Formalisierung eines separaten Teilmodells zur Erfassung der Steuereffekte. Vgl. zum grundsätzlichen Vorgehen Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 208 ff.

(6) Die wirtschaftliche Nutzungsdauer jeder Anlage ist bekannt und wird dem Modell vorgegeben; eine simultane Bestimmung von Investitionen und Desinvestitionen erfolgt nicht. ¹⁾

Auf der Grundlage dieser Prämissen ist das Teilmodell wie folgt aufgebaut:

1. Definitionsgleichung der Zielwirkung

$$(1) \sum_t z_{rit}^I X_{it} + \sum_j z_{rjt}^K Y_{jt} + r_{T-1} q_t - c_T^F \stackrel{!}{=} 0$$

Variable dieser Gleichung sind:

X_{it} Realisation des Investitionsprojektes mit dem Projektindex i zu Beginn des Zeitpunktes t

Y_{jt} Aufnahme des Kredites mit dem Index j zu Beginn des Zeitpunktes t

r_{T-1} im Zeitpunkt $T-1$ getätigte Ergänzungsinvestitionen bzw. -kredite (siehe Projektbedingungen)

c_T^F Zielbeitrag des finanzwirtschaftlichen Teilmodells

Parameter sind:

z_{rit}^I Isoliert zurechenbare Zahlungen der Investition i (begonnen im Zeitpunkt t) im Zeitpunkt T

1) Vgl. dazu Jacob, H.; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, a.a.O., S. 29 ff und Baan, W.; Ein zweistufiger Planungsansatz der Investitionsrechnung - Partialmodelle zur Bestimmung der optimalen Nutzungsdauer und des Restwertes von Anlagegütern als Hilfsmittel bei der Lösung simultaner Investitions-, Produktions-, Absatz- und Finanzplanungsmodelle, Diss. Hamburg 1976

Eine solche simultane Optimierung der Nutzungsdauer läßt sich in der Modellstruktur zwar eintrich abbilden, erhöht aber den Informationsbedarf sehr stark. Vgl. ebendort, S. 19 ff. und Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 205 ff.

z_{rjt}^K Zahlungen für Kredit j (aufgenommen im Zeitpunkt t) im Zeitpunkt T

q_T Rendite bzw. Kosten für Ergänzungsmaßnahmen

Diese Gleichung ermittelt den Beitrag des finanzwirtschaftlichen Teilmodells zum zu maximierenden Endwert.

2. Die Liquiditätsbedingungen

Diese bestehen im Grundsatz aus den gleichen Elementen wie die Definitionsgleichung der Zielwirkung. Der Saldo aus den Investitions- und Kreditzahlungen hat einen extern vorgebenen Zahlungssaldo zu decken. Dieser besteht aus zwei Elementen:

E_t Vom Investor vorgegebene finanzielle Anforderungen, bzw. finanzieller Beitrag, z.B. gewünschte Entnahmen oder für Investitionszwecke zur Verfügung gestelltes Kapital im Zeitpunkt t .

B_t Finanzeller Beitrag bzw. Anforderungen der leistungswirtschaftlichen Teilmodelle.

Beide Größen sind positiv definiert, wenn es sich um einen Beitrag handelt, negativ hingegen, wenn finanzielle Anforderungen bestehen. Die Liquiditätsbedingungen ergeben sich als:

$$(2) \sum_t z_{rit}^I X_{it} + \sum_j z_{rjt}^K Y_{jt} + r_{t-1} q_t - r_t \geq -E_t - B_t \text{ für alle } t$$

und sind für alle Abrechnungsperioden des Ergebniszeitraumes aufzustellen. ¹⁾ Zu Beginn der ersten Abrechnungsperiode im Zeitpunkt $t=0$ sind Finanzanlagen bzw. Ergänzungskredite aus der Vorperiode noch nicht vorhanden, so

1) Strenggenommen ist die Liquiditätsbedingung für die letzte Periode des Ergebniszeitraumes T redundant, da sie der Gleichung (1) entspricht.

daß die Variable r_{t-1} den Wert Null annimmt. Im letzten Zeitpunkt des Ergebnishorizontes sind analog keine Ergänzungsinvestitionen bzw. -kredite möglich, die Variable r_T nimmt den Wert Null an.

3. Projektbedingungen

Die Projektbedingungen stellen sicher, daß die Investitions- und Finanzierungsmaßnahmen gewisse vorgegebene Grenzen nicht überschreiten, gegebenenfalls auch nicht unterschreiten.

Diese Grenzen können der Unternehmung sowohl durch die Umwelt (Kreditgrenzen, Beschaffbarkeit bestimmter Investitionsgüter) wie auch durch das eigene Management vorgegeben sein.

Die Projektbedingungen fordern weiter für die Investitionsvariablen Ganzzahligkeit. 1) "Dagegen unterliegen die Finanzierungsvariablen streng genommen nicht der Ganzzahligkeitsrestriktion." 2) Allerdings sind in vielen Fällen auch bestimmte Finanzierungsmaßnahmen (Kapitalerhöhungen, Schuldscheindarlehen) nur in großen ganzzahligen Beträgen möglich. 3)

Es gelten also folgende Projektbedingungen:

(3) $X_1^u \leq \sum_t x_{1t} \leq X_1^o$ mit $x_{1t} \frac{1}{2}$ ganzzahlig für alle t

(4) $Y_j^u \leq \sum_t Y_{jt} \leq Y_j^o$ mit $Y_{jt} \frac{1}{2}$ ganzzahlig für alle j mit Forderung nach Ganzzahligkeit

mit: X_1^u bzw. Y_j^u = Untergrenze für Investitionen vom Typ t bzw. Finanzierungsmaßnahmen vom Typ j

- 1) Vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 381 ff. und Kuschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 183
2) Wegener, H.; Die Optimierung Linearer Investitions- und Finanzplanungsmodelle mit ausgewählten Verfahren der ganzzahligen Planungsrechnung, a.a.O., S. 119
3) Vgl. ebendort

X_1^o bzw. Y_j^o = Obergrenze (analog)

Für die finanziellen Ergänzungsmaßnahmen wird ein unvollkommener, in der Höhe beschränkter Kapitalmarkt angenommen. 1) Der Investor erhält somit für die Ergänzungsinvestitionen einen einheitlichen Habenzins h_t und zahlt für die Kredite einen von der Verschuldungshöhe unabhängigen Sollzins s_t . Es gelten folgende Projektbedingungen für Ergänzungsmaßnahmen: 2)

(5a) $R_t^u \leq r_t \leq R_t^o$ für alle t

(5b) $q_t = \begin{cases} (1+h_t) & \text{falls } r_{t-1} \geq 0 \\ (1+s_t) & \text{falls } r_{t-1} < 0 \end{cases}$

mit: R_t^u bzw. R_t^o = untere bzw. obere Aufnahmegrenze für finanzielle Ergänzungsmaßnahmen

- 1) Vgl. Kuschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 58 ff.
2) Es sei darauf hingewiesen, daß das Modell mit dieser Formulierung der Nebenbedingungen nicht mehr durch einen linearen Optimierungsalgorithmus lösbar ist, da im Modell eine multiplikative Verknüpfung der Variablen r_t und q_t existiert. Dieser Mangel kann durch explizite Abbildung der Ergänzungsinvestitionen und -kredite in zwei Variablen leicht behoben werden.

2.3.2.2 Die Teilmodelle des Leistungsbereiches der Unternehmung

Wie oben ausführlich erläutert wurde, hängt die Vorteilhaftigkeit einer Investition entscheidend von ihrem Einsatz in der produktiven Kombination der Unternehmung ab. ¹⁾ Theoretisch ist es also notwendig, daß die Planung des Investitionsprogramms simultan mit der Bestimmung des Absatz-, Produktions- und Beschaffungsprogramms erfolgt.

Das konzipierte Planungsmodell umfaßt somit Teilmodelle zur Ermittlung des Leistungsprogramms der Unternehmung auf der Basis der durch die Investitionstätigkeit bereitgestellten Kapazitäten.

Die Teilmodelle des Absatz-, Produktions- und Beschaffungsbereiches sind in ihrer Struktur bewußt einfach gehalten. Dies geschah zum einen, um die typischen Elemente der jeweiligen Teilmodelle klarer herausarbeiten zu können.

Zum anderen erscheint es sachlich aber auch nicht gerechtfertigt, im Rahmen einer langfristigen Planung wie der des Investitionsprogramms alle Einzelheiten des Leistungserstellungsprozesses mit zu planen. Durch Einbeziehung z.B. der kurzfristigen Produktionsprogrammplanung oder der Preisplanung, ²⁾ also des kurzfristigen Teils der zeitlichen

- 1) Vgl. dazu Jacob, H.; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung, a.a.O., S. 24 ff. und Blumentrath, U.; Investitions- und Finanzplanung mit dem Ziel der Ertragsmaximierung, a.a.O., S. 319 ff.
2) Zu den Begriffen vgl. Reisdwold, R./Slevy, C.; Produktionswirtschaft, a.a.O., S. 289 ff.

Zur Notwendigkeit einer Hierarchisierung des Planungsprozesses vgl. für viele Hax, A.C.; Hierarchical Planning Systems - A Production Application, in: Pflüger, H. (Hrsg.); Computergestützte Unternehmensplanung, Stuttgart 1977, S. 103-136, hier S. 105 ff.

Planungshierarchie würde die Modellkomplexität so stark ansteigen, daß mit vertretbaren Mitteln eine Lösung nicht mehr möglich wäre. Zwar bestehen Interdependenzen zwischen langfristiger und kurzfristiger Planung, doch "ist in der Betriebswirtschaftslehre eben 'alles interdependent', und die Grenzen sind flüchtig". ¹⁾ Bei der praktischen Planung ist die Investitionsplanung verbunden mit der lang- und mittelfristigen Planung des Produktions- und Absatzprogramms. ²⁾ Eine relativ grobe Abbildung des Leistungsbereiches der Unternehmung erscheint daher gerechtfertigt: eine detaillierte Abbildung ist bei Beibehaltung der Grundstruktur des Modells jedoch möglich. ³⁾

1) Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S.264

2) Vgl. Kilger, W.; Optimale Produktions- und Absatzplanung - Entscheidungsmodelle für den Produktions- und Absatzbereich industrieller Betriebe, Opladen 1973, S. 25 und Jacob, H.; Die Planung des Produktions- und Absatzprogrammes, a.a.O., S. 45

3) Zur detaillierten Abbildung des Produktionsbereiches in linearen Planungsmodellen vgl. z.B. Adam, D.; Produktionsdurchführungssplannung, in: Jacob/H.; Industriebetriebslehre in programmierter Form, Band II: Planung und Planungsrechnung, Wiesbaden 1972, S. 329-498; Jacob, H.; Produktionsplanung und Kostenlehre, in: Koch, H.; Zur Theorie der Unternehmung - Festschrift zum 65. Geburtstag von Erich Gutenberg, Wiesbaden 1962, S. 205-268; Jacob, H.; Zur optimalen Planung des Investitionsprogramms bei Einzelfertigung, in: ZfB 41. Jg. (1971), S. 491-516; Kilger, W.; Optimale Produktions- und Absatzplanung, a.a.O.,
Kruschwitz, L.; Eigenzerzeugung oder Beschaffung? Eigenverwendung oder Absatz? Zweckmäßige Optimierungsmethoden für industrielle Entscheidungsalternativen, Berlin 1971; Wiggert, H.; Kurzfristige Programmpflichtplanung mit Hilfe der linearen Planungsrechnung in Betrieben mit mehrteiliger und mehrstufiger Produktion; Diss., Darmstadt 1972; Dunkelbach, W.; Zum Problem der Produktionsplanung in Ein- und Mehrproduktunternehmen, Würzburg-Wien 1964

Zu den Grenzen dieser Modelle vgl. Scheer, A.-W.; Produktionsplanung auf der Grundlage einer Datenbank des Fertigungsbereiches, a.a.O., S. 52 ff.; Vischer, P.; Simultane Produktions- und Absatzplanung - Rechen-technische und organisatorische Probleme mathematischer Programmierungsmodelle, Wiesbaden 1967

Zur detaillierten Abbildung in Investitionsplanungsmodellen vgl. Blumentrath, U.; Simultane Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., S. 340 ff.; Meyfak, H.; Simultane Gesamtplanung im mehrstufigen Mehrproduktunternehmen, Wiesbaden 1970; Rosenberg, O.; Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Gesamtplanung, Köln etc. 1975

2.3.2.2.1 Das Produktionsmodell

Mittelpunkt der leistungswirtschaftlichen Teilmodelle ist das Produktionsmodell. Seine Aufgabe ist die Bestimmung des (mittelfristigen) Produktionsprogramms für die einzelnen Abrechnungsperioden des Ergebnishorizontes, also insbesondere die Planung, welche Produkte in welchen Mengen herzustellen sind.

Das im folgenden konzipierte Produktionsmodell bildet eine industrielle Mehrproduktunternehmung mit mehrstufiger Fertigung ab. Im einzelnen gelten folgende Prämissen:

1. Die Unternehmung produziert mehrere Produkte z aus originären Produktionsfaktoren, die über das Beschaffungsmodell von der Umwelt bezogen werden.
2. Die Bearbeitung der Produkte erfolgt in mehreren Stufen. Diese Bearbeitungsstufen können für die verschiedenen Erzeugnisse identisch sein, doch läßt sich zu jedem Zeitpunkt ein teilweise fertiggestelltes Erzeugnis einem bestimmten, nach seiner Fertigstellung absatzfähigen Produkt zurechnen. Der Durchfluß der Produkte durch die Bearbeitungsstufen erfolgt nur in einer Richtung; Rückkopplungen sind ausgeschlossen.¹⁾
3. Die Bearbeitung der Erzeugnisse in jeder Stufe erfordert eine eindeutig bestimmte Menge eines Produktionsfaktors, die durch Produktionskoeffizienten erfaßt werden kann.

¹⁾ Vgl. Stahlbrecht, P.; Strategien zur Implementierung von OR-gestützten Planungsmodellen in der Praxis, in: DBW 38. Jg. (1978), S. 39-50, hier S. 41 ff. und Rosenbery, O.; Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Gesamtplanung, a.a.O., S. 15. "Empirische Untersuchungen haben gezeigt, daß sich in vielen Fällen das reale Produktionssystem in dieser Weise ausreichend exakt abbilden läßt." Exendort

4. Jede Fertigungsinvestition kann zur Bearbeitung eines oder mehrerer Produkte in einer oder mehrerer Stufen eingesetzt werden. Ist die Bearbeitung ausgeschlossen, so ist das durch entsprechenden Ansatz der Produktionskoeffizienten zu berücksichtigen.

5. Jede Investition stellt pro Abrechnungsperiode ein bestimmtes maximales, z.B. in Zeiteinheiten definiertes Nutzungspotential zur Verfügung. Dieses Nutzungspotential kann nicht weiter ausgedehnt werden (keine zeitliche Anpassung); ebenso ist es nicht möglich, die Nutzungsintensität zu erhöhen (keine intensitätsmäßige Anpassung).¹⁾

6. Das Modell berücksichtigt keine Elemente der Prozeßplanung; es wird unterstellt, daß das geplante Produktionsprogramm durchführbar und optimal ist.²⁾

Auf der Grundlage dieser Prämissen läßt sich das Produktionsmodell formulieren:

1. Die produktabhängigen Kapazitätsbedingungen ermitteln den Kapazitätsbedarf aller Produkte in allen Bearbeitungsstufen auf einem bestimmten Maschinentyp und stellen diesen der verfügbaren Kapazität gegenüber:

¹⁾ Zu den Anpassungsformen der Produktion an den Absatz vgl. Gutenberg, E.; Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, 1. Band: Die Produktion, 22. Aufl. Berlin usw. 1976, S. 354 ff.

²⁾ Vgl. Zimmermann, W.; Modellanalytische Verfahren zur Bestimmung optimaler Fertigungsprogramme, Berlin 1966, S. 75 ff. und Blumentrath, U.; Simultane Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., S. 443 ff. sowie Rosenbery, O.; Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Gesamtplanung, a.a.O., S. 31 f.

$$(6) \sum_{zs} \alpha_{zsi} m_{zsti} \leq T_{it} + \sum_{t'=1}^t T_{itt'} x_{itt'}$$

Darin bedeuten:

α_{zsi} = Produktionskoeffizient für die Bearbeitung eines Produktes z auf Anlagentyp i in Stufe s

m_{zsti} = dort zu bearbeitende Menge in Periode t

\bar{T}_{it} = noch einsetzbare Zeiteinheiten des Anfangsbestands des Investitionstyps i

$T_{itt'}$ = einsetzbare Zeiteinheiten einer Maschine vom Typ i, angeschafft in Periode t', in Periode t

2. Die Mengenkontinuitätsbedingungen

sichern, daß die in der Produktionsstufe s+1 bearbeiteten Mengen auch in der vorgelagerten Stufe bearbeitet wurden: ¹⁾

$$(7) \sum_i m_{zsti} = \sum_i \beta_{zs+1s} m_{zs+1ti} \quad \text{für alle } s, z, t$$

Der Faktor β_{zs+1s} gibt an, wieviele Erzeugungseinheiten aus der Stufe s für die Bearbeitung in s+1 benötigt werden.

3. Die Definitionsgleichung der Zielwirkung ermittelt die variablen Produktionskosten, die bei der Bearbeitung entstehen:

1) Es wird bei dieser langfristigen Planung unterstellt, daß kein Ausschub entsteht. Soll dieser berücksichtigt werden, so ist der Faktor β entsprechend zu modifizieren. Vgl. dazu Jacob, H.; Produktionsplanung und Kostentheorie, a.a.O., S. 257 ff.

$$(8) \sum_{zs} k_{zsit} m_{zsit} - K_{it}^P = 0 \quad \text{für alle } i \text{ und } t$$

mit:

k_{zsit} = die variablen Produktionskosten bei Bearbeitung des Produktes z in Stufe s in Periode t auf Maschine i

K_{it}^P = Zielwirkung der Investitionen vom Typ i in Periode t

Die weiteren Bedingungen stellen die Verbindung zwischen Investitions- und Produktionsbereich her.

6. Die Produktionsfaktorabhängigen Kapazitätsbedingungen definieren den Bedarf an Kapazitäten im Produktionsbereich, der nicht durch die Produkte sondern durch die Investitionen ausgelöst wird. Investitionen im Fertigungsbereich verursachen einen Bedarf an Folgeinvestitionen, der unabhängig von dem produktiven Einsatz dieser Investitionen ist. In diesem Sinne produktionsfaktorabhängig ist z.B. der Bedarf an Grundstücken und Gebäuden ¹⁾, an betrieblichen Wartungseinrichtungen und Personalbildungsmaßnahmen ²⁾.

$$(9) \sum_{i \cdot t'=1}^t \sum_{f \cdot t'=1}^t i f t' x_{i \cdot t'} \leq \sum_{i \cdot t'=1}^t \sum_{f \cdot t'=1}^t i f t' x_{i \cdot t'} \quad \text{für alle } f \text{ und } t$$

In dieser Restriktion definieren

1) Vgl. dazu Mentzel, K./Scholz, M.; Integrierte Verkaufs-, Produktions- und Investitionsplanung, a.a.O., S. 5 und Rosenberg, O.; Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Gesamtplanung, a.a.O., S. 25
 2) Vgl. dazu Domsch; Simultane Personal- und Investitionsplanung im Produktionsbereich, Bielefeld 1970 und Strutz, H.; Langfristige Personalplanung auf der Grundlage von Investitionsmodellen, Wiesbaden 1976

I_{ft} = den Bedarf der Investition i an Faktorart f
(z.B. q_m - Bedarf in Gebäuden einer bestimmten
Ausstattung) in Periode t

I'_{ft} = den Beitrag einer Investition i' zur Faktorart f
(z.B. die Größe einer Fertigungshalle in q_m)
in Periode t

7. Die Verknüpfungsbedingungen mit dem Absatzmodell

ermitteln aus den Produktionsmengen der aktuellen Abrechnungsperiode die Verkaufsmengen. Es sei unterstellt, daß der Absatz noch in der Produktionsperiode erfolgen kann und Lagerhaltung ausgeschlossen ist.

$$(10) \quad \sum_i m_{zst_i} = v_{zt} \quad \text{für alle } z \text{ und } t$$

Darin bedeuten:

m_{zst_i} = die in der jeweiligen letzten Bearbeitungsstufe s_z von Produkt z hergestellten Mengen

v_{zt} = die Verkaufsmengen von Produkt z

8. Die Verknüpfungsbedingungen mit dem Beschaffungsmodell definieren den Bedarf an originären Produktionsfaktoren o , der in allen Bearbeitungsstufen bei der Produktion aller Erzeugnisse entsteht.

$$(11) \quad \sum_{i,z,s} \epsilon_{izso} m_{zst_i} = b_{ot} \quad \text{für alle } o \text{ und } t$$

mit ϵ_{izso} = Bedarfskoeffizient für Faktor o bei der Bearbeitung von Produkt z auf Maschine i in der Stufe s

b_{ot} = zu beschaffende Mengen von Faktor o in Periode t

2.3.2.2.2 Das Beschaffungsmodell

Das Beschaffungssystem sei in diesem Investitionsplanungsmodell nur sehr vereinfacht abgebildet. Mit Hilfe von Nebenbedingungen beschränkt das Modell die zu jedem Zeitpunkt beschaffbaren Mengen einer bestimmten Faktorart und ermittelt in einer Definitionsgleichung die bei der Beschaffung anfallenden Kosten. Da das Modell keine unterschiedlichen Bezugsquellen für den gleichen Faktor und ebenso keine Lagerhaltung berücksichtigt, kann es die real entstehenden Beschaffungskosten nur sehr grob abschätzen. Für eine langfristige Investitionsplanung erscheint die erreichte Genauigkeit aber als ausreichend. Von größerer Bedeutung für die Investitionsplanung ist das Mengengerüst der Beschaffungsplanung. Es entscheidet über die notwendigen Transport- und Lagerkapazitäten, die von der Investitionsplanung bereitgestellt werden müssen.

Das Beschaffungsmodell besteht aus drei Arten von $(m-)$ Gleichungen:

1. Die Beschaffungsmengenbedingung
sichert die Einhaltung vorgegebener Beschaffungshöchstmengen für jeden Faktor in jeder Periode:

$$(12) \quad b_{ot} \leq B_{ot} \quad \text{für alle } o \text{ und } t$$

2. Die Beschaffungskapazitätsbedingungen
ermitteln den Investitionsbedarf im Beschaffungssektor der Unternehmung

$$(13) \quad \sum_o v_{ot} \leq \sum_{i,t} I_{i,t} + \sum_{i,t=1}^t I_{i,t} x_{i,t} \quad \text{für alle } t \text{ und } I$$

Die Beziehung (15) unterstellt, daß der Bedarf an z.B. Lager- und Transportkapazitäten allein von den beschafften Mengen abhängt. Es definieren

y_{0l} = Bedarf einer Mengeneinheit des originären Produktionsfaktors 0 an Kapazitätsart 1

I_{1t} = Kapazität des Anfangsbestandes von Kapazitätsart 1 in Periode t

I_{1it} = Beitrag der Investition i zur Kapazität 1 in Periode t

3. Die Definitionsgleichung der Zielwirkung ermittelt den Beitrag des Beschaffungsmodells zur Zielfunktion.

$$(14) \quad \sum_0^k k_{ot}^b b_{ot} - k_t^B = 0 \quad \text{für alle } t$$

mit: k_{ot}^b = Beschaffungspreis für eine Mengeneinheit des Faktors 0 in Periode t

k_t^B = Beschaffungskosten in Periode t

2.3.2.2.3 Das Absatzmodell

"Im Absatzsystem ist die Bestimmung der in den einzelnen Perioden des Planungszeitraums abzusetzenden Produkte nach Art, Menge und Märkten und die hierfür einzusetzenden Absatzfaktoren ... vorzunehmen." ¹⁾ Die im Rahmen der Investitionsplanung durchzuführende mittel- und langfristige Absatzprogrammplanung legt den Rahmen für die kurzfristige Programmplanung fest, unmittelbar handlungsrelevant ist sie nur insofern, als sie bestimmte Investitionen - z.B. zur Entwicklung neuer Produkte oder zur Erweiterung des Produktions- und Vertriebsapparates - auslösen kann. ²⁾ Nur diese langfristig zu planenden Elemente des absatzpolitischen Instrumentariums ³⁾ sind also im Absatzmodell abzubilden; auf die Berücksichtigung der kurzfristigen Elemente kann demgegenüber verzichtet werden.

1. Die Absatzmengenbedingungen berücksichtigen die mögliche Wirkung von Investitionen auf die in jeder Periode absetzbaren Mengen. Aus Vereinfachungsgründen wird dabei unterstellt, daß die Produkte nur auf einem Markt abgesetzt werden, dieser also nicht in Teilmärkte aufgespalten ist. ⁴⁾

1) Rosenberg, O.; Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Gesamtplanung, a.a.O., S. 43 f.

2) Vgl. Jacob, H.: Die Planung des Produktions- und des Absatzprogramms, a.a.O., S. 46

3) Vgl. Gutenber, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 2: Der Absatz, 16. Aufl., Berlin-Heidelberg-New York 1979 S.104ff

4) Zur Erfassung unterschiedlicher Teilmärkte vgl. Mentzel, K./Scholz, M.: Integrierte Verkaufs-, Produktions- und Investitionsplanung, a.a.O., S. 6

Zur Abgrenzung der Teilmärkte vgl. Jacob, H.; Preispolitik, 2. Aufl., Wiesbaden 1971, S. 27 ff.

$$(15) \quad \sum_{z=1}^n V_{zt} \leq V_{zt} \leq \sum_{z=1}^n V_{zt}^0 + \sum_{t'=0}^t \sum_{z=1}^n V_{zt'}^p \quad x_{1t'} \quad \text{für alle } z \text{ und } t$$

Es bedeutet:

$$V_{zt}^u = \text{untere Absatzgrenze für Produkt } z \text{ in Periode } t \text{ (z.B. interne Lieferverpflichtungen)}$$

$$V_{zt}^0 = \text{Höchstabsatzgrenze ohne zusätzlichen Einsatz langfristiger absatzpolitischer Instrumente von Produkt } z \text{ in Periode } t$$

$$V_{zt}^p = \text{Wirkung von Investition } i \text{ der Periode } t' \text{ auf den Absatz von Produkt } z \text{ in Periode } t$$

2. Die Definitionsgleichung der Zielwirkung des Absatzmodell

erfaßt die in jeder Abrechnungsperiode erzielten Netto-Umsatzerlöse (abzüglich der Vertriebskosten) E_t :

$$(16) \quad \sum_z (p_{zt} - k_{zt}^V) V_{zt} - E_t = 0$$

mit p_{zt} = Preis für Produkt z in Periode t

$$k_{zt}^V = \text{Vertriebskosten pro Stück für Produkt } z \text{ in Periode } t$$

2.3.2.3 Das Verknüpfungsmodell zwischen finanzwirtschaftlichen und leistungswirtschaftlichen Teilmodellen

Die Verbindung zwischen dem Investitions- und Finanzierungsmodell auf der einen Seite und den leistungswirtschaftlichen Teilmodellen auf der anderen Seite wird durch die 'Globalvariable' B_t in der Liquiditätsbedingung (2) hergestellt. Sie erfaßt den finanziellen Beitrag bzw. die finanziellen Anforderungen der leistungswirtschaftlichen Teilmodelle und ist definiert als Saldo zwischen Umsatzerlösen und Produktions- und Beschaffungskosten.

$$(17) \quad E_t - \sum_I K_{tI}^P - K_t^B - B_t = 0 \quad \text{für alle } t$$

Eine alternative Formulierung der Verknüpfungsbedingung soll kurz skizziert werden. Ermittelt man nicht nur die Globalvariable der Produktionskosten K_{tI}^P bezogen auf jede Investition, sondern ebenso die Beschaffungskosten K_t^B und Umsatzerlöse E_t durch entsprechende Formulierung der Teilmodelle, so ist es möglich, einen leistungswirtschaftlichen Beitrag für jede Investition zu ermitteln.¹⁾ Die Investitionszahlungen z_{tI}^I würden sich dann aus einem modellendogen bestimmten Teil und einem exogen vorgegebenen Teil zusammensetzen. Für jedes Investitionsprojekt wäre eine Verknüpfungsbedingung zu formulieren. Da die Größen z_{tI}^I Variable des Problems würden, wäre das Entscheidungsmodell mit linearen Lösungsverfahren nicht mehr rechenbar.

1) Es sei darauf hingewiesen, daß dieser Beitrag keineswegs zur isolierten Beurteilung der jeweiligen Investition verwendet werden kann. Auch bei dieser Formulierung ist nur eine Beurteilung des Gesamtprogramms möglich. So würden z.B. Investitionen, die nicht auf der letzten sondern nur auf vorgelagerten Bearbeitungsstufen einsetzbar sind, nur Kosten verursachen; wären isoliert beurteilt also sicher nicht vorteilhaft.

2.3.2.4 Das Zielmodell

Das Modell bildet finanzielle Ziel "Endwertstreben" ab. Bei dieser Zielsetzung wird das für den Investor verfügbare Vermögen zum Ende des Ergebniszeitraumes maximiert, wobei die Struktur und die Höhe von Entnahmen während dieses Zeitraums verbindlich und für alle Investitionsprogramme einheitlich festgelegt wird.¹⁾ Der Begriff 'verfügbares Vermögen' kennzeichnet dabei, daß die Vermögensgegenstände in einer Form vorhanden sein sollen, die es dem Investor gestattet, sein Vermögen für Konsumzwecke zu entnehmen (Konsumpräferenz) oder für andere, frei wählbare wirtschaftliche Zwecke zu verwenden (Liquiditätspräferenz).

Auf der Grundlage dieser Definition wird das Endvermögen ermittelt als

$$(18) \quad c_T^F + B_T \quad \text{-----} \rightarrow \max$$

Die Zielfunktion besteht also aus dem Zielbeitrag des Investitions- und Finanzierungsbereichs c_T^F , der in (1) ermittelt wurde, und dem finanziellen Beitrag des Leistungsbereiches für die letzte Periode des Ergebniszeitraumes aus (17). Diese beiden Variablen erfassen alle zielwirksamen Vermögensgegenstände am Ergebniszeitraum.

1) Vgl. Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 14

2.3.3 Einordnung des konzipierten Entscheidungsmodells

Das aufgestellte Entscheidungsmodell soll kurz in den Kategorien des Abschnittes 2.2. gekennzeichnet werden. Das Modell versucht, Elemente der Modelle von Hax und Jacob miteinander zu verbinden, stellt also ein finanz- und leistungswirtschaftliches Modell dar (Aa5). Alle Handlungsmöglichkeiten im Leistungsbereich werden detailliert abgebildet, im Zahlensbereich besteht neben den detailliert abgebildeten Transformationsalternativen noch die Möglichkeit von Ergänzungsmaßnahmen, in denen sich real bietende Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten zusammengefaßt werden (Ab4). Wie alle bisher betrachteten Modelle unterstellt dieser Entwurf Sicherheit der Umwelt (Ba1) und betrachtet allein quantitativ meßbare Ziel- und Ressourcenwirkungen (Bc1, Bf1). Betrachtet werden jeweils mehrere, z.T. direkt und z.T. indirekt zurechenbare Zielwirkungen (Bb2, Bd3) und mehrere Ressourcenwirkungen finanzieller wie auch leistungswirtschaftlicher Art (Be2, Bf3). Das Modell maximiert ein finanzielles Ziel, nämlich das abgeleitete Ziel 'Vermögensstreben', daneben können weitere zu satisfizierende Ziele in den Nebenbedingungen abgebildet werden (Ca1, Cb1, Cc1, Cc12). Dabei werden mehrere quantitative Umweltbedingungen beachtet, die sowohl finanzieller wie auch leistungswirtschaftlicher Art sind (Da2, Db1, Df13). Das Modell unterstellt einen unvollkommenen, beschränkten Kapitalmarkt; die Liquiditätsbedingungen stellen also eine Verbindung von Ressourcenverteilung und absoluter Höchstgrenze dar (Dc3).

Es handelt sich um ein dynamisches Entscheidungsmodell. Planungshorizont und Ergebniszeitraum sind gleichlang (Eb1, Eb2, Ec2). In der aufgestellten Form vernachlässigt das Modell Handlungskonsequenzen im restlichen Wirkungshorizont (Ed4)

2.3.4 Modellumfang

2.3.4.1 Modellumfang allgemein

Der Umfang des vorgestellten Modells wird durch die Anzahl der Variablen und die Zahl der Restriktionen definiert. Maßgebend für den Modellumfang sind die folgenden Parameter:

- T : Zahl der Planperioden (Ergebnshorizont)
- I : Zahl der Investitionstypen, die zur Produktfertigung herangezogen werden.
- G : Zahl der Investitionstypen, die im direkten Zusammenhang mit Fertigungsinvestitionen stehen (Folgeinvestitionen)
- Z : Zahl der Produkte
- S : Anzahl der Produktionsstufen
- J : Anzahl der Finanzierungstypen
- O : Anzahl der originären Produktionsfaktoren
- t⁺ : Länge des Zeitraums, für den die Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten detailliert abgebildet werden (Planungshorizont).

Daneben werden folgende Parameter benötigt:

$$u_{1t}^I = \begin{cases} 1, & \text{wenn Investition } i \text{ in Periode } t \text{ durchführbar} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$$u_{zs}^S = \begin{cases} 1, & \text{wenn Produkt } z \text{ die Produktionsstufe } s \text{ durchläuft} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$$u_{jt}^J = \begin{cases} 1, & \text{wenn Finanzierungsmaßnahme } j \text{ in Periode } t \text{ durchführbar} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$$u_{zt}^Z = \begin{cases} 1, & \text{wenn Produkt } z \text{ in Periode } t \text{ absetzbar} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$$u_{st}^I = \begin{cases} 1, & \text{wenn Investition } i \text{ den Arbeitsgang } s \text{ ausführen kann} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Unter Verwendung dieser Parameter ergeben sich allgemein folgende Beziehungen für den Modellumfang:

$$\begin{aligned} \text{Anzahl der Investitionsvariablen } ^1) & \quad x_{it} = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T u_{it}^I \\ \text{Anzahl der Finanzierungsvariablen} & \quad Y_{jt} = \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T u_{jt}^J \\ \text{Anzahl der Variablen für finanzielle Ergänzungsmaßnahmen} & \quad r_t = (T-1) \cdot 2 \\ \text{Anzahl der Bearbeitungsvariablen} & \quad m_{zstt} = \sum_{z=1}^Z \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T u_{zst}^S \\ \text{Anzahl der Absatzvariablen } ^3) & \quad v_{zt} = \sum_{z=1}^Z \sum_{t=1}^T u_{zt} \end{aligned}$$

$$\text{Anzahl der Beschaffungsvariablen } ^3) \quad b_{ot} = 0 \cdot T$$

Die Anzahl der Restriktionen ergibt sich aus folgenden Beziehungen:

$$\begin{aligned} \text{Liquiditätsbedingungen (2)} & \quad T-1 \\ \text{Produktabhängige Kapazitätsbedingungen (6)} & \quad I \cdot T \\ \text{Faktorabhängige Kapazitätsbedingungen (9)} & \quad G \cdot t^+ \\ \text{Mengenkontinuitätsbedingungen (7)} & \quad \sum_{z=1}^Z \sum_{t=1}^T u_{zt} (s_z - 1) \end{aligned}$$

1) Variablen mit Ganzzahligkeitsforderung
 2) Bei getrennter Abbildung von Ergänzungsinvestitionen und Ergänzungskrediten
 3) Hilfsvariable, die bei verdichteter Formulierung des Modells nicht notwendig ist.

Absatzbedingungen ¹⁾	(15)	2·T
Beschaffungsbedingungen ¹⁾	(12)	0·T
Projektbedingungen ¹⁾		I+J+2·(T-1)

2.3.4.2 Modellumfang anhand eines praktischen Beispiels

Die Formeln zur Bestimmung des allgemeinen Modellumfangs sollen nun auf ein konkretes Beispiel angewendet werden: Ein Industriebetrieb, der eine Palette einfacher Konsumgüter herstellt, will ein entsprechendes Modell für seine langfristige Investitionsplanung der nächsten 5 Jahre (t^+) anwenden, die sich ergebnismäßig bis 1990 ($T=10$) erstrecken soll. Der Betrieb stellt 12 Grundprodukte in etwa 350 Varianten her. Diese Varianten sind in vier Klassen zu unterteilen:

- A: Grundprodukte; unterschiedliche Kapazitätswirkungen in allen Produktionsstufen
- B: Verpackungsvarianten; unterschiedliche Kapazitätswirkungen in einzelnen Fertigungsstufen
- C: Verpackungsvarianten; unterschiedliche Kapazitätswirkungen in den Verpackungsstufen
- D: Verpackungsvarianten ohne Kapazitätswirkungen

In die Klassen A, B und C fallen etwa 50 Produktvarianten (=2).

Die Grundprodukte gehören zu drei Produktlinien, deren Produktion auf vollkommen unterschiedlichen Fertigungsstraßen erfolgt. Zwei dieser Produktlinien werden zum Teil als ein Erzeugnis ("Set") angeboten und dazu in den Verpackungsstufen integriert.

Der Produktionsprozeß wird grob in Abb. 15 gekennzeichnet. Für die Kapazitätsplanung sind danach 22 (=S) unterschiedliche Arbeitsgänge zu unterscheiden.

Von den etwa 1550 für die Produktion fremdbezogenen Rohstoffen und Fertigteilen werden nach einer wertmäßigen ABC-Analyse

¹⁾ Restriktionen dieser Art sind in modernen Optimierungsalgorithmen durch die Formulierung von BOUNDS oder RANGES substituierbar. Vgl. z.B. Control Data Corporation, APEX III Reference Manual, Version 1.1, 1977

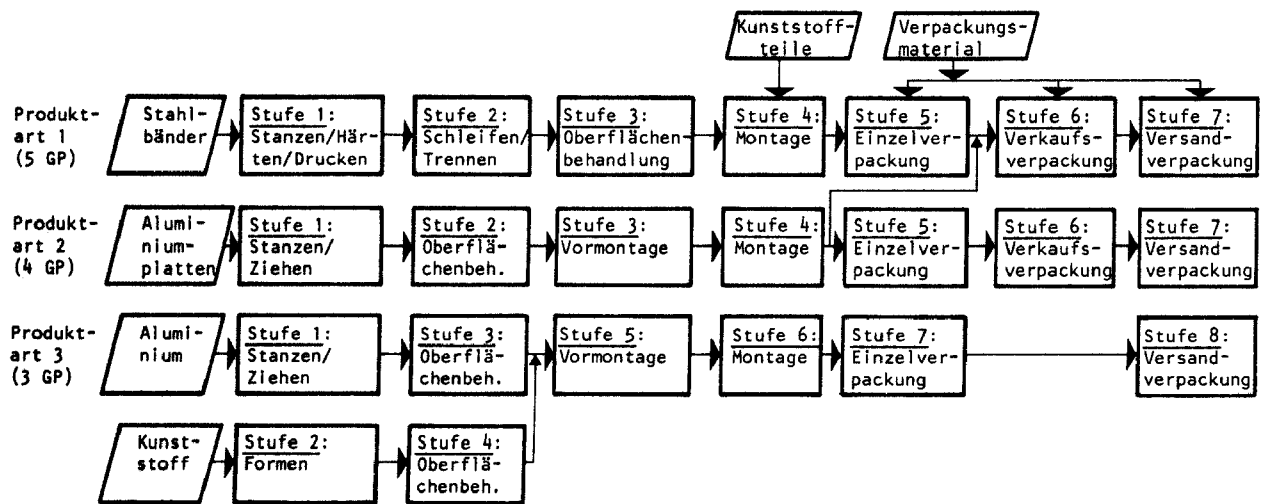


Abb. 15: Grobes Schema des Produktionsprozesses der betrachteten Unternehmung

se und einer Analyse potentieller Engpassbereiche 60 Teilgruppen (=0) in die Planung einbezogen.

Auf dem Gebiet der ersten beiden Produktlinien ist die Unternehmung einer von zwei großen Anbietern auf dem internationalen Markt. Der Marktanteil der Unternehmung ist seit Jahren konstant, der mengenmäßige Umsatz korreliert sehr stark mit der Bevölkerungsentwicklung in den Abnehmerländern.

Die Ölpreissetzung des Marktes wirkt sich bei diesen beiden Produktlinien auch auf die Fertigungstechnologie aus. Die Aggregate für die ersten drei Fertigungsstufen werden nach eigenen Patenten von Werkzeugmaschinenherstellern gefertigt, da ein Investitionsübermarkt für diese Spezialmaschinen nicht existiert. Demgegenüber sind in den anderen Fertigungsstufen und bei der dritten Produktlinie modifizierte Standardaggregate im Einsatz.

Die Unternehmensleitung hat sich entschieden, in der Investitionsplanung statt der Vielzahl technischer Alternativen alternative ökonomische Auslegungen der jeweiligen Produktionsstufen zu untersuchen, die sich speziell in der Kapazität, in der universellen Einsetzbarkeit und im Automatisierungsgrad unterscheiden. In den 22 Produktionsstufen bestehen 75 Investitionsmöglichkeiten.¹⁾ Weiterhin stehen in den nächsten fünf Jahren Investitionen im Bereich der Fertigungssteuerung (4 Alternativen), beim Umbau der Fertigungsgebäude (5 Alternativen) und bei den Lagereinrichtungen (6 Möglichkeiten) an. Insgesamt bestehen damit 90 Investitionsmöglichkeiten (I=70, G=20).

1) Die Verpackungsmaschinen sind zum Teil identisch.

Die Finanzierungsmöglichkeiten sind durch Vorgaben der Konzernleitung begrenzt ($J=10$).

Vor Ermittlung des Modellumfangs soll noch einmal darauf hingewiesen werden, daß sowohl die Produktbalette wie auch die Produktionsstruktur der Unternehmung hier vereinfacht und übersichtlich dargestellt wurde. Weiterhin ist das zugrundeliegende Entscheidungsmodell sehr einfach aufgebaut. Wendet man die oben abgeleiteten Formeln zur Abschätzung des voraussichtlichen Modellumfangs an, so errechnen sich folgende Werte:

Anzahl der Investitionsvariablen $x_{it} = 450$ (ganzzahlig)
 Anzahl der Finanzierungsvariablen $y_{jt} = 50$
 Anzahl der Variablen für finanzielle Ergänzungsmaßnahmen $r_t = 20$
 Anzahl der Bearbeitungsvariablen $m_{ztsi} = 11660^2)$

Werden die Absatz- und Beschaffungsvariablen in einer verdichteten Modellformulierung eliminiert, so ergibt sich ein Modellumfang von ca. 11700 kontinuierlichen und 450 ganzzahligen Variablen.

Folgende Restriktionen sind aufzustellen:

Liquiditätsbedingungen 9
 Produktabhängige Kapazitätsbedingungen 750

1) Die 1. Produktlinie wird in 15 Varianten, die 2. in 6 Varianten und die dritte Produktlinie in 10 Varianten gefertigt. Weitere 19 Produktvarianten ergeben sich aus "Sets" aus der 1. und 2. Produktlinie. Während bei der 2. Produktlinie mit 4 Aggregattypen pro Stufe gerechnet wurde, bestehen bei der 1. und 2. Linie aufgrund der erwähnten speziellen Fertigungstechnologie in den ersten drei Stufen nur zwei Anlage Typen.

2) 1166 in jeder Periode

Mengenkontinuitätsbedingungen 2360
 Faktorabhängige Kapazitätsbedingungen 75

Aus den Bearbeitungsvariablen jeweils der ersten Produktionsstufe ergibt sich in jeweils einer Nebenbedingung der Bedarf an den 60 differenziert erfaßten originalen Produktionsfaktoren. Diese Nebenbedingungen sind mit Hilfe der RANGE-Technik auf die in jeder Periode beschaffbaren Faktormengen zu beschränken (60*10=600 Restriktionen). In analoger Weise errechnen sich aus den Bearbeitungsvariablen der jeweils letzten Produktionsstufe (summiert über alle Aggregate) die hergestellten Enderzeugnismengen. Auch diese sind mit Hilfe der RANGE-Technik auf das zulässige Absatzintervall zu beschränken (500 Nebenbedingungen).

Ein entsprechendes Planungsmodell würde also etwa 4000 Nebenbedingungen umfassen.

Da die Probleme bei der Lösung eines entsprechenden Modells in den Folgeabschnitten der vorliegenden Arbeit besprochen werden, soll an dieser Stelle nur auf die Probleme bei der Datengewinnung (= Bestimmung der Modellkoeffizienten) hingewiesen werden. Zwar existiert in der betrachteten Unternehmung ein recht gut ausgebautes EDV-gestütztes Informations- und Produktionsplanungssystem,¹⁾ doch dokumentieren die dort abgespeicherten Daten (Stücklisten, Daten der einzelnen Arbeitspläne, Arbeitspläne, Stückkosten) nur den Ist-Zustand und sind für Planungszwecke nur bedingt verwertbar. Die Prognosen über die im Planungszeitraum zur Verfü-

1) Es handelt sich um ein sukzessives Produktionsplanungssystem und Abrechnungssysteme für Finanzbuchhaltung und Kostenrechnung

gung stehenden Investitionsgüter werden dadurch erleichtert, daß die Fertigungstechnologie von der Unternehmung weitgehend selbst entwickelt wird.

Sehr gute Voraussetzungen bestehen auch bei der Prognose der Absatzzahlen, da diese - wie erwähnt - sehr stark mit der Entwicklung der erwachsenen Bevölkerung in den Abnehmerländern korreliert.

Trotz dieser vergleichsweise guten Voraussetzungen erscheint der Aufwand zur Gewinnung der notwendigen Daten für das doch recht einfach aufgebaute Modell sehr hoch zu sein. Speziell die Gewinnung der etwa 12000 Koeffizienten für die Bearbeitungsvariablen dürfte erhebliche Schwierigkeiten bereiten, da die bisherigen Daten für die neu zu investierenden Aggregate nur begrenzte Gültigkeit haben.

2.4. Lösungsverfahren für Entscheidungsmodelle der Investitionsprogrammplanung

2.4.1. Formale Anforderungen an Lösungsverfahren

Das im vorigen Abschnitt entwickelte Modell der Investitionsprogrammplanung hat formal folgende Eigenschaften:

- (1) Es handelt sich um ein mathematisches Entscheidungsmodell. "In einem mathematischen Entscheidungsmodell werden die Alternativen durch Aktionsvariable (Instrumentalvariable; unabhängige Variable, über deren Fixierung der Entscheidungsträger befinden muß) zum Ausdruck gebracht. Die Ausprägungen der Erwartungsvariablen (abhängige Variablen) geben die Konsequenzen (die Zielerreichung) wieder. Daten stellen unbeeinflussbare, entscheidungsrelevante Größen dar. Die Zielfunktion erfaßt die Ziele des Entscheidungsträgers. Definitionsfunktionen enthalten die definitorischen Zusammenhänge zwischen den Variablen der Zielfunktion. Erklärungsfunktionen bilden den Zusammenhang zwischen Erwartungsvariablen und Aktionsvariablen ab. Schließlich existiert in der Regel eine Reihe von Nebenbedingungen. Sie geben an, in welchem Bereich die Aktionsvariablen des Entscheidungsmodells variieren können."¹⁾

- (2) Die Aktionsvariablen des Modells lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- Streng-ganzzahlige Variable, die aus ökonomischen Gründen nur ganzzahlige Werte annehmen dürfen. Dies gilt im Investitionsbereich zum Beispiel für die Realinvestitionen (Grundstücke, Gebäude, maschinelle Anlagen), die entweder überhaupt nicht oder nur in

¹⁾ Heinen, E.; Industriebetriebslehre, a.a.O., 1. Teil: Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre, S. 65

ganzen Einheiten realisiert werden können.

- Gemildert-ganzzahlige Variable, die ökonomisch sinnvoll auch nur ganzzahlig realisiert werden können, bei denen der Fehler bei Vernachlässigung der Ganzzahligkeit jedoch als gering eingeschätzt werden kann. Zu denken ist beispielsweise an die Produktvariablen in der Massen- und Serientfertigung.

- Kontinuierliche Variable, in der Regel Wertgrößen, die in jeder realen Ausprägung - die durch das Wahlungssystem abbildbar ist - realisiert werden können. Ein Beispiel wäre die Finanzierungsmaßnahme Kontokorrentkredit.

In Investitionsplanungsmodellen wird für die Mehrzahl der Variablen zumindest gemilderte Ganzzahligkeit gefordert.

(3) Alle Beziehungen im Modell sind bekannt und in einem linearen Gleichungssystem erfassbar. Für eine bestimmte Kombination von Aktionsvariablen ergibt sich ein eindeutiger Wert der Zielfunktion und eine eindeutige Ressourcenwirkung, das heißt formal eine eindeutige Beanspruchung der jeweiligen Nebenbedingung. Es handelt sich also um ein deterministisches Entscheidungsmodell.¹⁾

(4) Das lineare Gleichungssystem ist unterbestimmt, es existieren also mehr Variable als Gleichungen. Im anderen Fall wäre das System eindeutig lösbar, die Suche nach einer die Zielfunktion maximierenden Variablenkombination wäre gegenstandslos.²⁾ Die Forderung nach Linearität aller Beziehungen bedeutet, daß alle nichtlinearen Be-

1) Vgl. Bamberg, G./Oegenberg, A.G., Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, a.a.O., S. 35 f. und Hanssman, F.; Operations Research Techniques for Capital Investment, New-York-London-Sydney 1968, S.9
2) Vgl. Körth, H./Otto, C./Runge, W./Schöch, M.; Mathematik für Ökonomen und Ingenieurökonomische Fachrichtungen, Teil I: Mathematische Grundlagen, Berlin 1971, S. 263

ziehungen sich ohne Auswirkungen auf die verlangte Lösungsgüte in linearen (un-) Gleichungen abbilden lassen. Ökonomische Probleme treten dabei zum Beispiel bei der Abbildung von Stückkosten- oder Grenzerlösoverläufen auf.

(5) Auf der Grundlage dieser formalen Eigenschaften reduziert sich die Aufgabe des Lösungsverfahrens darauf, "in kurzer Zeit aus einer unberechenbaren Anzahl von Alternativen die im Sinne des vorgegebenen Kriteriums optimale auszuwählen."¹⁾

Das formal einfach erscheinende Problem der Lösung eines linearen Planungssystems wird durch seine spezielle Struktur schwer lösbar. Diese spezifischen Eigenschaften sind zum einen mathematischer Art. Durch die Ganzzahligkeitsforderung für einige Variablen wird das Problem zu einer gemischt-ganzzahligen Optimierungsaufgabe. Für solche Problemstellungen existieren bisher noch keine effizienten Lösungsverfahren, die in allen Fällen zum Optimum führen.²⁾ Die meisten bekannten Optimierungsverfahren beschränken sich darauf, aufgrund einer teils expliziten, teils impliziten Durchrechnung aller möglichen Lösungen, die zieloptimale Alternative auszuwählen.³⁾

Zum anderen sind diese Eigenschaften ökonomischer Natur. Investitionsplanungsmodelle umfassen bei Problemstellungen der Praxis oft mehrere tausend Variable und mehrere hundert

1) Heinen, E.; Industrielehrslehre, a.a.O., 1. Teil: Heinen, E.; Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre, a.a.O., S. 64

2) Zum Entwicklungsstand gemischt-ganzzahliger Lösungsverfahren vgl. Meyer, P./Suhl, U.; Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, in: Noltemeier, H.; Computergestützte Planungsprobleme, Würzburg-Wien 1976, S. 111-154 und Land, A./Powell, S.; Computer Codes for Problems of Integer Programming, in: Annals of Discrete Mathematics Vol. (1979), S. 221-269

3) Vgl. Abschnitt 2.3.2.

Nebenbedingungen.¹⁾ "Realistische Planungsprobleme ergeben sehr oft große Modelle mit vielen hundert Binärvariablen, einigen tausend stetigen Variablen und ebenso vielen Restriktionen. Derartige Probleme sind - wenn überhaupt - nur mit Mühe zu lösen."²⁾

2.4.2. Optimierungsverfahren

Zur Lösung linearer, unterbestimmter Gleichungssysteme, bei denen eine Zielfunktion zu maximieren ist, sind eine Reihe von Lösungsverfahren entwickelt worden. von denen das bekannteste wohl die sogenannte Simplex-Methode ist. Diese Verfahren werden heute weitgehend dem Operations Research zugerechnet. Diese Grenzwissenschaft zwischen Ökonomie und Mathematik³⁾ hat auch Verfahren zur Lösung von Problemen entwickelt, bei denen alle Variablen (ganzzahlige Optimierung) oder ein Teil der Variablen (gemischt-ganzzahlige Optimierung) nur ganzzahlige Werte annehmen dürfen.

Als Optimierungsverfahren zur Lösung eines entsprechenden Entscheidungsmodells sei eine Methode bezeichnet, die nach endlich vielen Schritten die optimale Lösung ermittelt oder die Nicht-Existenz einer solchen Lösung nachweist. Bricht das Verfahren aus praktischen Gründen (zum Beispiel wegen Begrenzung der Rechenzeit) den Lösungsprozeß vor Erreichen des absoluten Optimums ab, so kann es die maximale Entfernung zwischen diesem und der erreichten Lösung nicht

- 1) Vgl. Blohm, H./Tidder, K.; Investition, a.a.O., S. 253
- 2) Mewert, P./Suhl, U.; Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 112
- 3) Vgl. Müller-Werbach, H.; Operations Research, a.a.O., S. 1 ff.

trivial angeben.¹⁾ Diese Eigenschaften seien als Endlichkeit und Lösungsgarantie eines Algorithmus bezeichnet.²⁾ Eine zusätzliche Eigenschaft der bisher bekannten Algorithmen der ganzzahligen und gemischt-ganzzahligen Optimierung ist, daß sie für eine ganze Klasse von Entscheidungsaufgaben geeignet sind (Allgemeinheit des Algorithmus)³⁾, sich also nicht an den inhaltlichen, sondern an den formalen Ei-

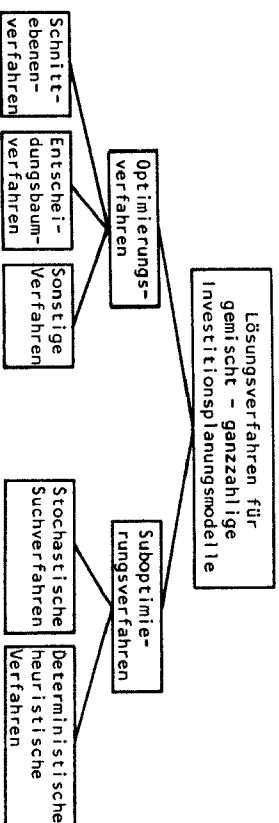


Abb. 16 : Lösungsverfahren für lineare, gemischt-ganzzahlige Investitionsplanungsprobleme

- 1) Eine triviale Bestimmung des Abstandes wäre es zum Beispiel, wenn man alle Variablen auf ihren maximal möglichen Wert setzen würde (in den hier betrachteten Modellen allein durch die Projektbedingungen bestimmt), daraus den Zielfunktionswert ableiten würde und anschließend die Differenz zur erreichten Lösung bestimmen würde.
- 2) Vgl. Klein, H.-C.; Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S.11 und Kirscht; Entscheidungsprozesse, Band II, a.a.O., S. 154 f.
- 3) Vgl. ebendort

genschaften der jeweiligen Problemstellung orientieren. Als theoretisch mögliches, wenn auch praktisch nur bei kleinen ganzzahligen Planungsproblemen anwendbares Lösungsverfahren wird die Durchnahme aller Lösungen genannt (vollständige Enumeration).¹⁾ Dieses Verfahren ist theoretisch trivial und verursacht einen nicht tragbaren Planungsaufwand,²⁾ der allerdings durch geschickte Ausnutzung der jeweiligen Problemeigenschaften gesenkt werden kann.³⁾ Als Optimierungsverfahren sollen jedoch nur Methoden bezeichnet werden, die systematisch und begründet mögliche Lösungen vernachlässigen und somit einen geringeren Problemlösungsaufwand als die vollständige Enumeration verursachen (Ausschluß potentieller Lösungen).

Diese Verfahren lassen sich in drei Kategorien einteilen:⁴⁾

- 1) Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 382, wendet diese Verfahren auf ein Beispiel zur Investitionsprogrammplanung an, nennt dieses Vorgehen aber selbst ein "bibliothek blamabel" (S. 393)
 - 2) Vgl. Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 135
 - 3) Vgl. Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 393. Der Verfasser hat selbst bei mehreren, in der Literatur als komplex bezeichneten Problemen die optimale Lösung durch "scharfes Hinjurken" gefunden. Diese Methode ist somit zwar theoretisch abwegig, praktisch aber hilfreich.
 - 4) Vgl. z.B. Korte, B.: Ganzzahlige Programmierung - ein Überblick, in: Beckmann, M.: Unternehmensforschung heute, Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Systems 50, Berlin-Heidelberg-New York 1971, S. 61 bis 127, hier S. 65
- Lider, K.: Zur Anwendung neuerer Algorithmen der ganzzahligen Linearen Programmierung, in: ZfB 39, Jg. (1969), S. 405-434, hier S. 407
- Runggalidier, W., Ganzzahlige, Null-Eins- und Gemischt-Ganzzahlige Programmierung im Zusammenhang mit der Branch and Bound-Technik, in: Weinberg, F.: Branch and Bound: Eine Einführung, 2. Auflage, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Berlin-Heidelberg-New York 1973, S. 107-126, hier S. 108 f.
- Braxer, K.M., Bihäre Optimierung - Untersuchung und Weiterentwicklung eines Verfahrens zur Analyse betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme bei zweiwertigen Alternativen und ökonomisch unteilbaren Objekten, Köln etc. 1969, S. 18 ff.
- Müller-Merbach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 368
- Masert, P./Sohl, U.: Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 112 ff.
- Die meisten dieser Autoren unterscheiden nur die beiden ersten Gruppen voneinander. Im Zuge der starken Forschungsanstrengungen zur Entwicklung weiterer Verfahren der ganzzahligen Optimierung sind jedoch Methoden entstanden, die sich einer klaren Klassifizierung bisher entziehen und daher in einer dritten Gruppe zusammengefaßt werden.

- (1) Schrittbeneen-Verfahren
- (2) Entscheidungsbaum-Verfahren
- (3) Sonstige Verfahren, insbesondere Dekompositionsalgorithmen und Lösungsverfahren auf der Grundlage der Lagrange-Relaxation und der Gruppentheorie.

zu (1) "Das Prinzip der Schrittbeneen-Verfahren ist die Bestimmung der optimalen Lösung einer ganzzahligen (oder gemischt-ganzzahligen - Anmerkung des Verfassers) Programmierungsaufgabe durch sukzessive Einführung von Nebenbedingungen (cutting planes), die das ursprüngliche Problem nicht enthält und die jeweils einen Teil der bisher zulässigen Lösungen 'abschneiden'.

Die so gewonnene erweiterte Aufgabe löst man mit Hilfe des primalen bzw. des dualen Simplexalgorithmus."¹⁾

Die Schrittbeneen-Verfahren basieren auf der Grundidee von Gomory²⁾ und unterscheiden sich vor allem in folgenden Punkten:

- Eignung nur für rein-ganzzahlige oder auch für gemischt-ganzzahlige Optimierungsprobleme;
- Basis eine primal oder eine dual zulässige Lösung des Ausgangsproblems;
- Ganzzahligkeit in allen Phasen des Lösungsprozesses oder nur für die End-(Optimal-)Lösung gesichert;
- Auswahlregel für die Bestimmung der Schritte, das heißt der Regel zur Konstruktion einer Restriktion und zur Auswahl der in ihr enthaltenen Variablen, um möglichst rasch die (ganzzahlige) Optimallösung zu gewinnen.

1) Lider, K.: Zur Anwendung neuerer Algorithmen der ganzzahligen Linearen Programmierung, a.a.O., S. 407

2) Gomory, R.E.: Outline of an Algorithm for Integer Solutions to Linear Programs, in: Bulletin of the American Mathematical Society Vol. 64 (1958), S. 275-278

Die Konvergenzgeschwindigkeit eines Schrittabenverfahrens hängt insbesondere von der letzten Eigenschaft ab, weswegen zur Konstruktion der Schritte eine grobe Zahl von Vorschlägen gemacht wurden. "Die Literatur über Schrittabenverfahren und deren Modifikationen ist ... kaum noch zu übersehen."¹⁾ An dieser Stelle soll daher eine Aufzählung und eine Beschreibung der unterschiedlichen Vorschläge unterbleiben²⁾, im Vordergrund soll die Charakterisierung der Eignung für komplexe Entscheidungsmodelle stehen.³⁾

Bis zur Mitte der sechziger Jahre basierte die ganzzahlige Optimierung weitgehend auf den Schrittabenverfahren, das galt insbesondere für die zu dieser Zeit verfügbaren Computerprogramme.⁴⁾ Auch die ersten Ansätze der Investitionsprogrammplanung verwendeten diese Algorithmen.⁵⁾ Die damals verfügbaren Schritte konvergieren allerdings recht schlecht bei komplexen Problemenstrukturen. In Verbindung mit der geringen Kapazität der damaligen Rechenanlagen bewirkte das eine Leistungsfähigkeit der Verfahren, die für die damals ent-

- 1) Korte, B.; *Ganzzahlige Programmierung - ein Überblick*, a.a.O., S. 89
- 2) Einen guten Überblick über diese Verfahren findet man in den auf S. 110 in Fußnote 4 angegebenen Quellen und in: Burckhard, R.E.; *Methoden der ganzzahligen Optimierung*, Wien 1972; Garfinkel, R./Neuhäuser, G.L.; *Integer Programming*, New York 1972; Greenberg, H.; *Integer Programming*, New York 1971; Hu, T.C.; *Integer Programming and Network Flows*, Reading 1969; Korbut, A./Finkelstein, J.; *Diskrete Optimierung*, Berlin 1971
- 3) Vor dem Hintergrund der Investitionsplanung werden die Schrittabenverfahren ausführlich von Wegener, H.; *Die Optimierung linearer Investitions- und Finanzplanungsmodelle mit ausgewählten Verfahren der ganzzahligen Programmierung*, a.a.O., S. 183 ff. und Blumenrath, U.; *Investitions- und Finanzplanung*, a.a.O., S. 447 ff. erörtert.
- 4) Vgl. Brauer, K.M.; *Binäre Optimierung*, a.a.O., S. 18 f.
- 5) Vgl. Weingartner, H.M.; *Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems*, a.a.O., S. 57 ff.

worfenen Entscheidungsmodelle nicht ausreichte.¹⁾ Heute verwenden die meisten Computerprogramme Entscheidungsbaumverfahren. "Allerdings erlebt man in der Literatur des Operations Research in letzter Zeit eine Renaissance der Schrittabenverfahren."²⁾ Ob diese sich auch in den kommerziellen Optimierungsprogrammen niederschlagen wird, hängt davon ab, ob diese Methoden die Effizienz moderner Entscheidungsbaumverfahren übertreffen können.³⁾

zu (2): "Alle Entscheidungsbaumverfahren bestehen im Prinzip in einer Enumeration, das heißt in der Berechnung aller möglichen Lösungen und der Auswahl der besten Lösung. Im Laufe des Enumerationsprozesses werden jedoch solche Lösungen oder Teillösungen, deren Nichtoptimalität man bereits erkennen kann, ausgeschlossen."⁴⁾

Nach der Organisation des Enumerationsprozesses werden drei Typen von Entscheidungsbaumverfahren unterschieden:

- (a) die Verfahren der dynamischen Optimierung;
- (b) die Branch-and-Bound Verfahren;
- (c) die Verfahren der impliziten oder auch begrenzten Enumeration.

- 1) Vgl. dazu Blumenrath, U.; *Investitions- und Finanzplanung*, a.a.O., S. 462 ff. Dort auch die Erläuterung der Ursachen und ihre Auswirkungen auf die Investitionsprogrammplanung.
- 2) Korte, B.; *Ganzzahlige Programmierung - Ein Überblick*, a.a.O., S. 90
- 3) Die Verbreitung neuer Verfahren bei Standard-Software-Herstellern hängt weiterhin davon ab, ob sich die hohen Programmentwicklungskosten durch die Nachfrage nach solchen Systemen rechtfertigen läßt. Dies muß nach dem bisherigen Verbreitungsgrad von Operations Research-Modellen zumindest bezweifelt werden.
- 4) Müller-Werbach, H.; *Operations Research*, a.a.O., S. 325

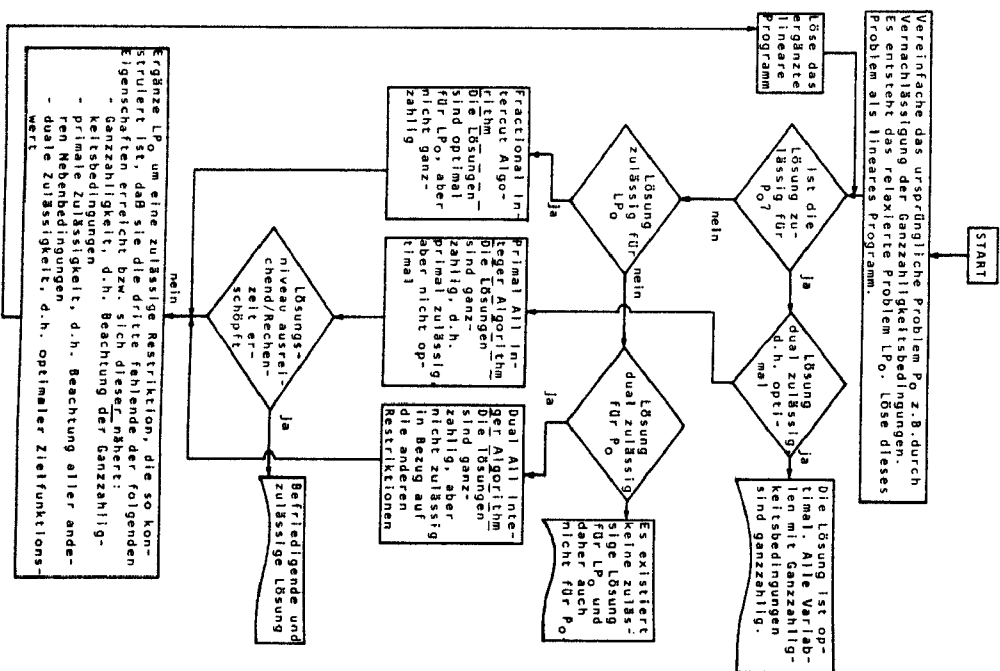


Abb. 17: Flussdiagramm des Lösungsprozesses von Schnittebenenverfahren für (gemischt -) ganzzahlige Optimierungsprobleme

Die Organisation des Lösungsprozesses legt fest, welche Knoten des Entscheidungsbaums (= Teillösungen) im nächsten Schritt weiter zerlegt werden. Neben diesem Organisationsmerkmal lassen sich drei weitere generelle Merkmale von Entscheidungsbaumverfahren unterscheiden: 1)

- Verzweigungsmerkmal: Wie sollen aus der ausgewählten Teillösung weitere Unterlösungen erzeugt werden?
- Bewertungsmerkmal: Wie soll die Güte einer ermittelten Teillösung bewertet werden?
- Ausschlussmerkmal: Nach welchen Kriterien sollen Lösungsuntermengen von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden?

Im folgenden wird der grundsätzliche Aufbau der drei Verfahrenstypen kurz skizziert.

Verfahren der "dynamischen Optimierung" verfolgen eine parallele, stufenweise Enumeration, 2) das heißt jeder erzeugte Knoten (= Teillösung) wird im nächsten Lösungsschritt in $n(n-1)/2$ Kanten (= Teilprobleme) zerlegt, die sich in genau einer relevanten Eigenschaft unterscheiden. Diese Teilprobleme werden dann wiederum zerlegt; ausgeschlossen werden nur solche Teillösungen, die eindeutig nicht zu einer besseren Lösung führen. 3)

Durch diese parallele Organisationsform lassen sich mit Hilfe der dynamischen Optimierung nur kleine ganzzahlige Probleme lösen, da die Zahl der zu speichernden Lö-

1) Vgl. Müller-Werbach, H.: Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, in: Proceedings in Operations Research 6, Würzburg-Wien 1977, S. 655-667, S. 662 ff. und derselbe; Modelling Techniques and Heuristics for Combinatorial Problems, in: Roy, B. (ed.): Combinatorial Programming - Methods and Applications, Dordrecht 1975, S. 3-27, hier: S. 16 ff.

2) Vgl. Müller-Werbach, H.: Modelling Techniques and Heuristics for Combinatorial Problems, a.a.O., S. 17

3) Vgl. Müller-Werbach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 329

sungen mit steigender Problemgröße sehr schnell wächst. Algorithmen auf dieser Grundlage werden daher selten verwendet und sollen nicht weiter betrachtet werden. ¹⁾ Allerdings gelingt es bei bestimmten Problemen (speziell mit wenigen Restriktionen), durch geschickte Ausnutzung der Problemstruktur den Lösungsaufwand auf ein vertretbares Maß zu senken. ²⁾

Verfahren des "Branching and Bounding" und der "Impliziten Enumeration" zerlegen in einem Lösungsschritt jeweils nur einen Knoten in weitere Teilprobleme. Beim eigentlichen "Branch-and-Bound"-Verfahren wird jeweils der Knoten mit dem höchsten zu erwartenden Zielfunktionswert weiter zerlegt, bei der begrenzten Enumeration der jeweils letzte, noch nicht verworfene Knoten. ³⁾ Die heute am weitesten verbreiteten Verfahren zur Lösung gemischt-ganzzahliger Optimierungsprobleme basieren auf dem Prinzip einer Verbindung eines Algorithmus

1) Zur dynamischen Optimierung allgemein vgl. Dick, W./Bliefemich, M.; Operationsforschung - Mathematische Grundlagen, Methoden, Modelle, Band 2, Berlin 1972, S. 290 ff. und Hadley, G.; Nichtlineare und dynamische Programmierung, Würzburg-Wien 1969. Zur Anwendung in der ganzzahligen Optimierung vgl. z.B. Kravczyk, R.; Die Anwendung der dynamischen Optimierung auf ein verallgemeinertes Knapsack-Problem, in: AI 14. Jg. (1972), S. 34-36, derselbe; Ein Verfahren zur Lösung des bivalenten Knapsack-Problems, in: AI 14. Jg. (1972), S. 223-228; Braun, H.; Erweiterungen des Verfahrens von Kravczyk zur Lösung des bivalenten Knapsack-Problems, in: AI 15. Jg. (1973), S. 25-28; Gerhardt, C.; Gedanken zur Lösung des Knapsack-Problems, in: APF 11. Jg. (1970), S. 69-83

2) Zur Anwendung der dynamischen Optimierung auf ein Investitionsprogrammplanungsproblem vgl. Gearing, C.E./Swart, W.M./Var, F.; Determining the optimal Investment Policy for the Tourism Sector of a developing country, in: MS. Vol. 20 (1973), S. 487-497 und Wagner, H.; Simultane Planung von Investition, Beschäftigung und Finanzierung mit Hilfe der dynamischen Programmierung, in: ZfB 37. Jg. (1967), S. 709-728

3) Zu den Begriffen vgl. Müller-Werbach; Heiner; Operations Research, a.a.O., S. 341
Die Highest in - First out - Organisationsform wird heute nicht mehr in allen "Branch and Bound"-Verfahren praktiziert, da ein Last in - First out - Verfahrensablauf (ursprünglich Kennzeichen nur der impliziten Enumeration) ohne Reihe EDV-technischer Vorteile hat.

zur Lösung (kontinuierlicher) linearer Probleme mit einem Branch-and-Bound-Verfahren. ¹⁾ Bei diesen Verfahren wird das gemischt-ganzzahlige Optimierungsproblem zunächst kontinuierlich gelöst. ²⁾ Durch Einfügung von Nebenbedingungen, die die diskreten Variablen auf unterschiedliche ganzzahlige Werte zwingen, werden Unterprobleme gebildet (Branching). Aus den Unterproblemen wird ein Kandidatenproblem ausgewählt, das wiederum als kontinuierliches lineares Programm gelöst wird. Der Zielfunktionswert dieser Lösung wird mit dem Zielwert der besten bisher gefundenen zulässigen (= ganzzahligen) Lösung verglichen (Bounding). Dieser "untere Bound" kann zu Beginn des Verfahrens zum Beispiel durch eine Heuristik ermittelt werden und wird dann jeweils durch die beste zulässige, bisher gefundene Lösung ersetzt. Übersteigt der untere Bound den aktuellen Zielfunktionswert, so wird der betreffende Knoten verworfen, andernfalls wird er auf eine neue Liste gesetzt. Anschließend wird ein neues Kandidatenproblem gewählt (Branching and Bounding) beziehungsweise der aktuelle Knoten erneut aufgespalten. Den grundsätzlichen Ablauf von LP/Branch-and-Bound-Verfahren verdeutlicht Abb. 18. ³⁾

1) Die ersten Verfahren dieser Art wurden konzipiert von Land, A.H./Doig, A.G.; An automatic method of solving discrete programming problems, Economics Vol. 28 (1960), S. 497-520 und Dakin, R.J.; A Tree-Search Algorithm for Mixed Integer Programming Problems, in: The Computer Journal, Vol. 8 (1963), S. 250-255

2) Eine detaillierte Beschreibung unterschiedlicher Verfahrenstypen findet man bei Geoffrion, A.M./Marsten, R.E.; Integer Programming Algorithms: A Framework and State-of-the-Art Survey, in: MS Vol. 18 (1972), S. 465-491 und bei Meyer, P./Suhl, U.; Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O.

3) Diese Abbildung basiert auf den Darstellungen von Meyer, P./Suhl, U.; Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 113 ff. und Brucker, P.; Ganzzahlige Lineare Programmierung mit ökonomischen Anwendungen, Weisenheim am Glan 1975, S. 47

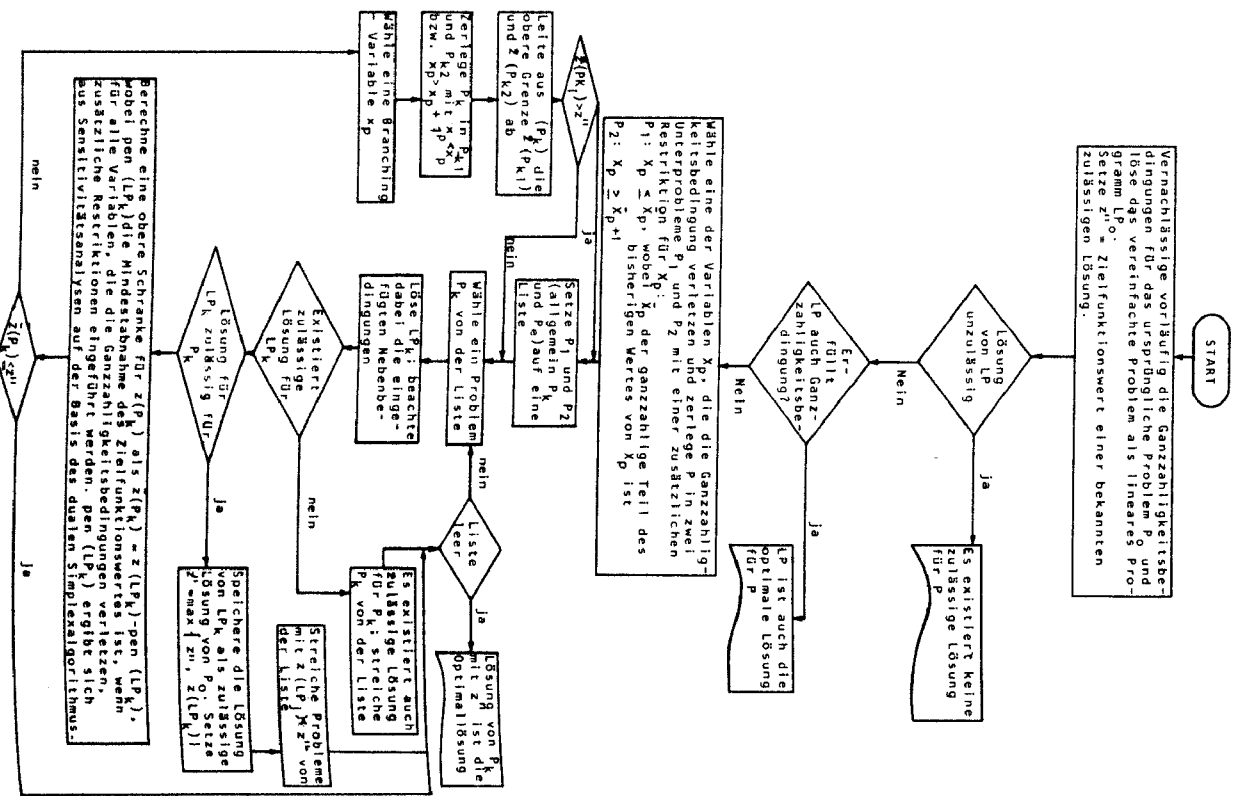


Abb. 18 : Flußdiagramm des Lösungsprozesses eines Branch-and-Bound-Verfahrens für ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem

Verfahren der impliziten Enumeration ¹⁾ verwenden keinen LP-Algorithmus zur Lösung kontinuierlicher Teilprobleme. Werden sie nicht mit einem Dekompositionsverfahren mit einer solchen LP-Routine gekoppelt, sind diese Verfahren nur zur Lösung rein-ganzzahliger Optimierungsprobleme geeignet.

Vereinfacht ausgedrückt ermitteln diese Algorithmen zunächst vorwärtsschreitend eine zulässige Lösung, indem nach heuristischen Regeln ausgewählte Variable solange in die Lösung aufgenommen werden, bis diese zulässig ist (duales Vorgehen). Dann wird in einer zweiten Phase nach Verbesserungen gesucht, indem getestet wird, ob der Ersatz der zuletzt aufgenommenen Variable durch andere Variable zu einer zulässigen und besseren Lösung führt (Last in - First out - Strategie). "Der große rechenstechnische Vorteil des Balas-Algorithmus liegt darin, daß als Rechenoperationen nur Additionen beziehungsweise Subtraktionen verwendet werden." ²⁾

Die Güte von Entscheidungsbaumverfahren, die sich insbesondere in der benötigten Computerkapazität und in der Größe der lösbaren Probleme ausdrückt, wird neben der Organisationsform durch die Ausprägungen der anderen generellen Merkmale festgelegt. ³⁾

- 1) Dieser Verfahrenstyp geht auf Balas, E.: An Additive Algorithm for Solving Linear Programs with Zero-One Variables, in: OR Vol. 13(1965), S. 517-549 zurück und ist inzwischen mehrfach verbessert worden. Vgl. Lüder, K.: Zur Anwendung neuerer Algorithmen der ganzzahligen Linearen Programmierung, a.a.O., S. 418 ff. und Brauer, K.M.: Binäre Optimierung, a.a.O., S. 59 ff. sowie Mevort, P./Suhl, U.: Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 135 ff.
- 2) Hansmann, K.-W.: Ganzzahlige Optimierung, in: WISU 4. Jg. (1975), S. 6-10, 56-60, 105-107, hier: S. 59
- 3) Vgl. im einzelnen Geoffrion, A.M./Marsten, R.E.: Integer Programming Algorithms: A Framework and State-of-the-Art Survey, a.a.O., S. 467 ff. und Bendichou, M./Gauthier, J.M./Girodet, P./Heniges, G./Rubiore, G./Vincant, O.: Experiments in Mixed-Integer Linear Programming, in: Mathematical Programming, Vol. 11(1971), S. 76-94 - Kreu, R./Budet, C.A.: Branch and Bound Experiments in Zero - One Programming, in: Mathematical Programming Study 2(1974), S. 1-50 - Bendichou, M./Gauthier, J.M./Heniges, G./Rubiore, G.: The Efficient Solution of Large-Scale Linear Programming Problems - Some Algorithmic Techniques and Computational Results, in: Mathematical Programming, Vol. 13(1977), S. 280-322 - Gauthier, J.M./Rubiore, J.M.: Experiments in Mixed-Integer Linear Programming Using Pseudo Costs, in: Mathematical Programming, Vol. 12(1977), S. 26-47

Beim Verzweigungsmerkmal ist unter anderem festzulegen, welche Variable als Branching-Variablen gewählt werden soll; ¹⁾ in wieviele Unterprobleme ein Knoten jeweils zerlegt werden soll ²⁾ und welchen Aufbau die Vorschrift hat, die diese Zerlegung vornimmt.

Zur Bewertung einer Teillösung bestehen neben der Relaxation durch Vernachlässigung der Ganzzahligkeitsbedingungen eine Reihe weiterer Möglichkeiten zur Konstruktion einer Abschätzungsfunktion mit möglichst großer Selektionswirkung. ³⁾

Bei der Ausschleibentscheidung sind folgende Fragen zu beantworten:

- Wie wird der Anfangsbound gewonnen; wird dazu eine einfache Startheuristik verwendet?
- Wird die aktuelle Abschätzung direkt aus der Lösung des relaxierten Problems gewonnen oder wird versucht, zusätzlich den Einfluß der vernachlässigten Restriktionen auf den "Bound" durch Korrekturfaktoren ("penalties") zu berücksichtigen? ⁴⁾
- Wann ist ein Unterproblem für den Algorithmus untersucht (fathomed) und wird daher von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen? ⁵⁾

1) Vgl. Mewert, P./Suhl, U.; Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 119 ff.
 2) Vgl. Müller-Werbach, H.; Ein Kaskadenbaumverfahren zur Lösung des "Knapsackproblems", in: AI 21. Jg. (1978), S. 494-505
 3) Vgl. Gorry, G.A./Molisey, L.A.; Relaxation Methods for Pure and Mixed Integer Programming Problems, in: MS Vol. 18 (1972), S. 229-239
 4) Vgl. Mewert, P./Suhl, U.; Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 115 ff.
 5) Vgl. Geoffrion, A.M./Marsten, R.E.; Integer Programming Algorithms: A Framework and State-of-the-Art Survey, a.a.O., S. 467 ff.

- Wird das vereinfachte Kandidatenproblem vollständig, das heißt optimal gelöst oder wird versucht, die Qualität des Knotens durch weniger aufwendige Methoden abzuschätzen?

Durch kontinuierliche Weiterentwicklung des Grundkonzeptes sind die Branch-and-Bound-Verfahren heute sehr leistungsfähige Methoden zur Lösung ganzzahliger Planungsmodelle. ¹⁾ Während der erste kommerziell verfügbare Code von Beale und Small (aus dem Jahre 1965 - Anmerkung des Verfassers) Probleme mit 10 - 20 Binärvariablen, einigen hundert stetigen Variablen und einigen hundert Restriktionen zu lösen vermochte, erlauben die heute verfügbaren Programmsysteme, zum Beispiel APEX III, ²⁾ MPSX-MIP ³⁾ oder UMPIRE ⁴⁾ unter Umständen die Lösung von Problemen mit einigen hundert Binärvariablen und einigen tausend stetigen Variablen und Restriktionen. ⁵⁾

1) Vgl. Geoffrion, A.M./Marsten, R.E.; Integer Programming Algorithms, a.a.O.; Mitra, G.; Investigations of some branch and bound strategies for the solution of mixed integer linear programming, in: Mathematical Programming Vol. 4 (1973), S. 155-180; Forrest, J.U.H./Hirst, J.A./Tomlin, J.A.; Practical solution of large mixed integer problems with UMPIRE, in: MS Vol. 20 (1974), S. 736-773; Land, A./Powell, S.; Computer Codes for Problems of Integer Programming, in: Annals of Discrete Mathematics Vol. 5 (1979), S. 221-269 und Chase, D.; Linear Programming Software - Ein Überblick über das Angebot und den Entwicklungsstand moderner LP-Systeme, in: Proceedings in Operations Research 9, Würzburg-Wien 1980, S. 539-550
 2) Anbieter: Control Data Corporation (CDC)
 3) Anbieter: IBM World Trade Corporation
 4) Anbieter: Scientific Control Systems, London (SCS)
 5) Ein Überblick über weitere kommerzielle Codes findet man in der in Fußnote 1) angegebenen Literatur.
 6) Mewert, P./Suhl, U.; Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 113

Tabelle 1 stellt einige in der Literatur veröffentlichte Ergebnisse bezüglich verschiedener Programmsysteme zusammen. ¹⁾ "Es sei davor gewarnt, aus den Ergebnissen Rückschlüsse über die Effizienz der unterschiedlichen Programmsysteme zu ziehen." ²⁾ Die Probleme kommen aus verschiedenen Anwendungsbereichen, sind unterschiedlich sorgfältig modelliert und wurden auf sehr unterschiedlichen Rechenanlagen gelöst. Zudem reagieren Branch-and-Bound Algorithmen sehr sensitiv auf Änderungen der Koeffizientenstruktur der Probleme. Dennoch läßt die Tabelle Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit heutiger Optimierungsalgorithmen zu. Keines der aufgeführten Probleme entspricht von seiner Größe und Struktur auch nur annähernd dem vergleichsweise einfachen Investitionsprogrammplanungsmodell aus Abschnitt 2.3. ³⁾ Da algorithmische Durchbrüche auf dem Gebiet gemischt-ganzzahliger Algorithmen nicht zu erwarten sind ⁴⁾, werden Investitionsprogrammplanungsprobleme speziell bei simultaner Planung des leistungswirtschaftlichen Bereichs ⁵⁾ auch bei den zu erwartenden Fortschritten der Computertechnologie die Leistungsfähigkeit verfügbarer Codes in absehbarer Zukunft übersteigen.

- 1) Die Tabelle basiert auf Angaben von Mewert, P./Suhl, U.; Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 129, von Land, A./Pöschel, S.; Computer Codes for Problems of Integer Programming, a.a.O., S. 261 ff. und von Peeters, H.; Empirischer Leistungsvergleich kommerzieller Softwaresysteme APEXIII, FPS, MEX-MIP/370 bei gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblemen, in: Proceedings in Operations Research 9, Würzburg-Wien 1980, S. 551-558
- 2) Mewert, P./Suhl, U.; Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 128
- 3) Vgl. Blohm, H./Lidder, K.; Investition, a.a.O., S. 253 und Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 206 ff.
- 4) Vgl. Ohse, D.; Linear Programming Software, a.a.O., S. 548
- 5) Vgl. Scheer, A.-W.; Produktionsplanung, a.a.O., S. 50 ff.

Problemart	Optimierungsverfahren	Variablenzahl	Zahl d. Restriktionen	# Objektivfunktionsglieder	LP-Iterationen	Optimum gefunden	Rechenzeit	Rechner-typ	Software
Standardort	GM	20 - 2595	423	9088	-	ja	7'		CPRELE
Produktion	GM	81 - 1674	264	-	-	ND 18'	3,3'		
Produktion	ME	59 - 4140	4140	20186	-	ja	26'		
Produktion	ME	611 - 1716	4140	20186	-	ja	29,3'		
Raffinerie	FR	24 - 2616	1242	20334	466	ja	15''-2'		IMPRE
Investition	FR	84 - 4943	2344	42724	11032	ja	15''		
-	FR	42 - 2730	1411	21758	680	ja	15''		
-	FR	84 21 4943	2365	42849	3060	ja	15''		
Quadr.-zuordnung	FR	156 - 2562	619	8051	820	ja	15''		
-	FR	156 - 2562	619	8051	862	ja	15''		
-	FR	304 25 535	860	3379	3115	ja	15''		
Investit.	BCC	39 - 1117	721	20028	-	ja	18,3'		MEX-MIP
Standardort	BCC	14 - 725	267	2497	-	ja	6,4'		
Produktion	BCC	28 - 117	132	1862	-	ja	1,3'		
Investit.	BCC	25 - 343	368	1592	-	ja	3,1'		
Standardort	P	14 36 1386	542	4321	0,8'	ja	3,8'		MEX-MIP/370
Investit.	P	- 48 1043	490	7573	1,8'	ja	14,0'		MEX-MIP/370
Reihenfolge	P	24 89 740	535	3019	2,0'	ND 7'	60'		
-	L/P	- 23 110	64	-	-	ja	-		IBM370
-	L/P	319 - 319	6	-	-	ND	-		
-	L/P	95 - 114	438	-	-	ND	-		
Produktion	L/P	- 390 819	479	-	-	ND	-		
Produktion	OP	- 95 4147	1639	-	-	ja	8,1'		
Produktion	OP	- 57 4147	1639	-	-	ja	4,2'		
Produktion	OP	- 57 456	190	-	-	ja	0,5'		
Produktion	MS	70 - 43	111	602	2508	ja	120'		APEX II
Produktion	MS	64 - 66	134	523	615	ja	360'		
Flanzern	MS	42 - 263	468	1503	1500	ND 3'	166'		APEXIII
Standardort	MS	150 - 310	196	1395	900	ND 15'	30'		
Standardort	P	14 36 1386	542	4321	1,0'	ja	8,1'		
Investit.	P	- 48 1043	490	7573	0,5'	ja	22,4'		
Reihenfolge	P	24 89 740	535	3019	0,5'	ja	29,2'		
-	L/P	- 23 110	64	-	1600	ND	20'		MEX
-	L/P	319 - 319	6	-	430	ND	6'		
-	L/P	95 - 114	438	-	89	ND	4,7'		
Standardort	P	14 36 1386	542	4321	2,2'	ja	11'		
Investit.	P	- 48 1043	490	7573	1,8'	ND 6'	1106		
Reihenfolge	P	24 89 740	535	3019	3,0'	ND 6'	1106		

Quellen: GM = Geoffrion, A.M./Nursten, R.E.; Integer Programming Algorithms, a.a.O.
 ME = Mitra, G.; Investigation of some branch and bound strategies for the solution of mixed integer linear programs, in: *SIAM J. Appl. Math.*, J.A., 1973, S. 155-170
 FR = Forrestster, J./Hart, J.A./Tavlin, J.A.; Practical solution of large mixed integer problems, in: *SIAM J. Appl. Math.*, S. 736-773
 BCC = Bracken, J.M./Sawcher, J.M./Goldrater, P./Benniges, P./Muller, G./Vincent, O.; Experiments in mixed integer linear programming, a.a.O.
 L/P = Land, A./Pöschel, S.; Computer codes for problems of integer programming, a.a.O.
 MS = Meitzner, P./Suhl, U.; Empirischer Leistungsvergleich kommerzieller Softwaresysteme APEXIII, FPS, MEX-MIP/370 bei gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblemen, a.a.O.
 P = Mewert, P./Suhl, U.; Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O.
 OP = Heintz, Dr. Dr. H.P., Fra. Müller - ISN, Hamburg

Abkürzungen: 1) ND 18' = Optimalitätsniveau nicht durchgeprüft, max. Abweichung zum Optimum 18'.
 2) 1 5' = Rechenzeit beträgt ca. 5 sec. pro Iteration.
 3) Inactive = wurden 1000 Knoten (gemeint-ganzzahlige Programme) berechnet.
 4) bl/gz/kont. = binär/ganzzahlig/kontinuierlich

Tab. 1 : Die Leistungsfähigkeit von Programmsystemen zur gemischt-ganzzahligen Optimierung

zu (3) Von den sonstigen Verfahren sollen hier nur Dekompositionsalgorithmen, speziell das Verfahren von Benders skizziert werden. Die anderen erwähnten Ansätze sind zum Teil nur theoretisch entwickelt, zum Teil nur an ganz bestimmten Problemen erprobt worden und sind zur Zeit noch nicht zu verallgemeinern. 2) Das Verfahren der dualen Dekomposition nach Benders zerlegt ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem in einen Teil mit kontinuierlichen und einen Teil mit nur ganzzahligen Variablen. Jeder Teil wird dann mit einer seiner Struktur angepaßten Methode gelöst, der kontinuierliche Teil zum Beispiel mit der (revidierten) Simplexmethode, 3) der ganzzahlige Teil beispielsweise mit dem impliziten Enumerationsalgorithmus von Balas. 4)

- 1) Vgl. Benders, J.F.: Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems, in: Numerische Mathematik, 4. Jg. (1962), S. 238-252
- Einen Überblick über Dekompositionsverfahren gibt Tan, S.T.: Beiträge zur Dekomposition von linearen Programmen, in: Unternehmensforschung, 10. Jg. (1966), S. 168-189 und S. 247-268
- 2) Gruppentheoretische Ansätze werden z.B. vorgeschlagen von Johnson, E.L.: The group theoretic problem for mixed integer programming; in: Balinski, M.L.: Approaches to Integer Programming, Amsterdam 1974 - Vgl. auch Geoffrion, A.M./Marsten, R.E.: Integer Programming Algorithms - A Framework and State-of-the-Art Survey, a.a.O., S. 484 ff.
- 3) Bei bestimmten Problemstrukturen läßt sich das kontinuierliche Programm sehr effizient durch Netzwerkflußalgorithmen lösen. "Die verfügbaren Algorithmen zur Lösung derartiger Probleme sind 100 bis 400 mal schneller als allgemeine IP-Routinen." Mewert, P./Suhl, U.: Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 135
- Vgl. die Anwendung dieser Algorithmen auf Investitionsplanungsprobleme bei Crum, R.L./Klingman, D.D./Tavlis, I.A.: Implementation of Large-Scale Financial Planning Models: Solution Efficient Transformations, in: JFOA Vol. 14(1979), S. 137-152
- 3) Vgl. Balas, E.: An Additive Algorithm for Solving Linear Programs with Zero-One Variables, a.a.O.
- Zur Anwendung auf ein Investitionsplanungsmodell vgl. Bietahn, J./Liesmann, H.P.: Die numerische Behandlung eines gemischt-ganzzahligen Investitionsproblems mit exakten und heuristischen Methoden, in: ZfB 42 Jg. (1972), S. 401-420 und Liesmann, H.P./Bietahn, J.: Zur Anwendung von heuristischen Methoden bei der Optimierung eines gemischt-ganzzahligen und separierbaren Investitionsproblems, in: ZfB 43. Jg. (1973), S. 351-372

Dekompositionsverfahren sind von Interesse auch für eine mögliche Verbindung zwischen heuristischen und algorithmischen Problemlösungsmethoden. 1) Der Ansatz von Benders sei daher hier detailliert beschrieben: 2)

Gegeben sei ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem, das in Matrix-Schreibweise folgende Struktur hat:

- (A1) $Z = d x + c y \rightarrow \max$
- (A2) $A x + B y = e$
- (A3) $F y = f$
- (A4) $x \geq 0$
- (A5) $y \geq 0$ und ganzzahlig

Es symbolisiert:

- x = Vektor der kontinuierlichen Variablen (zum Beispiel Produktvariable)
- y = Vektor der ganzzahligen Variablen (zum Beispiel Investitionsvariable)
- d = Vektor der Zielbeiträge der kontinuierlichen Variablen (zum Beispiel Deckungsbeiträge der Produkte)
- c = Vektor der Zielbeiträge der ganzzahligen Variablen (zum Beispiel Kapitalwerte der Investitionsprojekte)
- A = Koeffizientenmatrix der kontinuierlichen Variablen in den Nebenbedingungen (zum Beispiel Produktionskoeffizienten in den Kapazitätsbedingungen)

1) Vgl. dazu Abschnitt 6.3.2.3.

2) Vgl. dazu Hu, T.C.: Integer Programming and Network Flows, a.a.O., S. 259 ff. und die ähnlichen Darstellungen von Brucker, P.: Ganzzahlige Lineare Programmierung mit ökonomischen Anwendungen, a.a.O., S. 87 ff. und Korte, B.: Ganzzahlige Programmierung - Ein Überblick, a.a.O., S. 118 ff. sowie die Verfahrensbeschreibung bei Mewert, P./Suhl, U.: Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 25 ff.

Dabei ist u = Zeilenvektor der Dualvariablen.

Der Wert der Zielfunktion des Primalproblems B und des Dualproblems C ist im Optimum gleich. Zusätzlich ist interessant an dem Dualproblem C, daß die Nebenbedingungen unabhängig von den ganzzahligen Variablen y sind. Wir setzen im folgenden aus Vereinfachungsgründen voraus, daß alle Dualprobleme und damit auch alle Primalprobleme eine zulässige und optimale Lösung besitzen. Dann kann man C in A einsetzen und erhält:

$$\begin{aligned} (D1) \quad Z &= cy + \min \{ u(e - By) \} \implies \max \\ (D2) \quad &uA \geq d \\ (D3) \quad &Fy = f \\ (D4) \quad &u \geq 0 \\ (D5) \quad &y \geq 0 \text{ und ganzzahlig} \end{aligned}$$

Nach dem Eckentheorem der linearen Optimierung¹⁾ muß die Lösung des (kontinuierlichen) Dualproblems C auf einem der Eckpunkte liegen, die durch das konvex-lineare Gleichungssystem (C2) gebildet werden. Es sei u^i der i -te Eckpunkt von (C2) und I die Menge aller Eckpunkte. Der minimale Eckpunkt $\min_{i \in I} \{ u^i(e - By) \}$ ist dann die optimale Lösung des Dualproblems und D wird zu E:

$$\begin{aligned} (E1) \quad z &= cy + \min_{i \in I} \{ u^i(e - By) \} \implies \max \\ (E2) \quad &Fy = f \\ (E3) \quad &y \geq 0 \text{ und ganzzahlig} \end{aligned}$$

Wären die optimalen Dualwerte, also der optimale Eckpunkt u^i bekannt, so könnte das rein-ganzzahlige Programm mit irgendeinem geeigneten Algorithmus optimal

1) Vgl. Müller-Werbach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 98 ff.

gelöst werden. Durch Einsetzen der optimalen y -Werte in B ließe sich dann leicht das kontinuierliche Problem lösen. Ökonomisch heißt das: "Die Dualvariablen des ... linearen Programms liefern, grob gesprochen, die Grenzerträge bei Änderung der ganzzahligen Variablen."¹⁾ Doch vor Lösung des Problems sind die optimalen Dualwerte nicht bekannt. Da jedoch gilt:

$$Z = cy + u^i(e - By) \leq Z^{Opt} = cy + u_{\min}^i(e - By),$$

das heißt nur die optimale Lösung beider Teilprobleme besitzt die richtigen Dualwerte, kann man das ganzzahlige Problem E durch eine Restriktion ergänzen und erhält das sogenannte Benders-Problem:

$$\begin{aligned} (F1) \quad Z &\longrightarrow \max \\ (F2) \quad Z &\leq cy + u^i(e - By) \quad \text{für alle } i \\ (F3) \quad &Fy = f \\ (F4) \quad &y \geq 0 \text{ und ganzzahlig} \end{aligned}$$

Die Schwierigkeit dieses Problems liegt in der sehr großen Anzahl von Restriktionen (F2), außerdem müßte jeder Eckpunkt des Gleichungssystems (C2) berechnet werden.

Das Verfahren von Benders besteht nun darin, das Problem F mit nur einem Teil der Restriktionen (F2) zu lösen, also Bedingungen nur für einen Teil der Eckpunkte aufzustellen. Die Lösung dieses vereinfachten ganzzahligen Problems liefert einen Vektor y ; Problem B beziehungsweise C kann als rein kontinuierliches Programm gelöst werden. Die Dualwerte beziehungsweise Dualvariablen dieses Programms liefern eine untere Grenze für die Nebenbedingungen (F2). Das Programm F kann um eine neue Restriktion ergänzt und ganzzahlig gelöst werden. Der

1) Mewert, P./Suhl, U.: Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 128

aktuelle Vektor der Dualwerte u^k gibt dabei - ökonomisch interpretiert - an, wie hoch der Ertrag ist, der aus der Kapazitätserweiterung B_y mit Kosten von d_y resultiert.

Das iterative Verfahren ist beendet, wenn die Lösung des ganzzahligen Teilproblems F den gleichen Zielfunktionswert erbringt wie das kontinuierliche Teilproblem. Da die Anzahl der Eckpunkte u^k I beschränkt ist und jedes Problem B beziehungsweise C mit einem anderen y -Vektor andere Dualwerte errechnet, ist es plausibel, daß der Dekompositionsalgorithmus von Benders beschränkt ist. ¹⁾

Das hier in seiner Grundform dargestellte Verfahren wurde in der Literatur mehrfach modifiziert; in der Regel mit dem Ziel, für die Teilprobleme B oder F jeweils spezielle Algorithmen zu verwenden. ²⁾

Computerprogramme für den Benders-Dekompositionsalgorithmus verwenden oft ein kommerzielles Programm für das kontinuierliche Teilproblem und ein vom jeweiligen Anwender erstelltes Programm zur Lösung des ganzzahligen Teils. Dabei wird in der Mehrzahl der Fälle der Balas-Algorithmus verwendet. ³⁾ Kommerziell angebotene

1) Zum Beweis vgl. Hu, T.C.: Integer Programming and Network Flows, S. 262 f.

2) Vgl. Lemke, C.E./Spielberg, K.: Direct Search Algorithms for zero-one and mixed-integer programming, in: Operations Research Vol. 15 (1967), S. 892-914 und Fleischmann, B.: Eine primale Version des Benders'schen Dekompositionsverfahrens und seine Anwendung in der gemischt-ganzzahligen Optimierung, in: Colloq. L./Metzlering, W. (Hrsg.): Numerische Mathematik bei Optimierungsaufgaben, 1973, S. 37-49
Vgl. auch Geoffrion, A.M./Graves, G.W.: Multicommodity distribution system design by Benders decomposition, in: MS, Vol. 20 (1974), S. 822-844; Geoffrion, A.M.: Generalized Benders Decomposition, in: Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 10 (1974), S. 237-260; McDaniel, D./Devine, M.: A Modified Benders Partitioning Algorithm for Mixed Integer Programming, in: MS Vol. 24 (1977), S. 312-319

3) Vgl. Geoffrion, A.M./Marsten, R.E.: Integer Programming Algorithms: A Framework and State-of-the-Art-Survey, a.a.O., S. 482 f.

Standardsoftware für diesen Algorithmus der gemischt-ganzzahligen Programmierung gibt es nach Wissen des Verfassers bisher nicht.

Mit den eigenerstellten Programmen haben die Anwender bei ihren jeweiligen Problemen allerdings Ergebnisse erzielt, die die Kapazität und die Schnelligkeit von Entscheidungsbaumverfahren überschritten. ¹⁾ Auch auf Investitionsplanungs- und auf Produktionsplanungsprobleme wurde der Benders-Dekompositionsalgorithmus mit Erfolg angewendet. ²⁾ "Allgemeine Codes auf der Basis der dualen Dekomposition schneiden bei der Lösung allgemeiner gemischt-ganzzahliger Programme gegenüber LP-Branch-and-Bound Codes in der Regel schlechter ab." ³⁾ Gelingt es jedoch, das Problem so aufzuspalten, daß für den kontinuierlichen beziehungsweise den ganzzahligen Teil besonders leistungsfähige Lösungsverfahren verwendet werden können, können mit Dekompositionsverfahren Probleme gelöst werden, die von Entscheidungsbaumverfahren nicht oder nur in sehr großen Rechenzeiten gelöst werden können.

1) Vgl. Geoffrion, A.M./Marsten, R.E.: Integer Programming Algorithms: A Framework and State-of-the-Art-Survey, a.a.O., S. 482 f. und die dort angegebene Literatur sowie Geoffrion, A.M./Graves, G.W.: Multicommodity distribution system design by Benders Decomposition, a.a.O.
2) Vgl. Geoffrion, A.M./Marsten, R.E.: o.g.O., S. 482 berichten über eine Reihe von Investitionsplanungsmodellen mit bis zu 50 ganzzahligen Variablen.

Jacob, H.: Applications of linear programming to investment problems of the petroleum industry, in: derselbe, Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, 3. Aufl. Wiesbaden 1976 berichtet über ein sehr großes Planungsmodell.
Pressmar, D.: Theorie der dynamischen Produktionsplanung, Habilitationsschrift, Hamburg 1972 berichtet über mehrere Produktionsplanungsmodelle mit bis zu 90 ganzzahligen Variablen.

3) Nevert, P./Suhl, U.: Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 31

nen.¹⁾

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die großen Forschungsanstrengungen zur Entwicklung von effizienten gemischt-ganzzahligen Lösungsalgorithmen zusammen mit der Entwicklung der Computertechnik zu einer Reihe von Methoden geführt haben, die auch auf mittelgroßen Rechenanlagen Probleme mittlerer Größenordnung lösen können (vgl. Tabelle 1). Diese Methoden stehen in Form von kommerziellen Programmsystemen den Anwendern zur Verfügung.²⁾ Bei der Lösung konkreter, in linearen Modellen abgebildeter Planungsprobleme sind allerdings folgende Faktoren zu beachten:

- Der Anwender muß die Eigenheiten des Lösungsprogramms und die des Planungsproblems kennen und diese entsprechend ausnutzen. Das setzt entsprechende theoretische Kenntnisse, lange Erfahrung und gegebenenfalls Experimente voraus.³⁾
- Das Verfahren ermittelt in der Regel nur gute Lösungen und verzichtet auf den Optimalitätsbeweis, "da außer bei relativ kleinen oder sehr günstig strukturierten Problemen mit keinem der heute bekannten Verfahren Optimalität bewiesen werden kann."⁴⁾

- 1) Dasselbe berichten beispielsweise über einen Ansatz, das kontinuierliche Teilproblem als Netzwerkflußproblem zu formulieren, zu dessen Lösung Algorithmen verwendet werden können, die 100 bis 400 mal schneller sind als allgemeine IP-Routinen.
- 2) Diese Softwarepakete wie APEXIII, MEX-MIP oder UNIPRE kosten nach Erkundigungen des Verfassers etwa 25.000 DM Jahresmiete, sind aber auch für einzelne Läufe an den Rechenzentren der jeweiligen Hersteller verfügbar.
- 3) Vgl. etwa die Versuche mit alternativen Lösungsstrategien bei Peeters, H.; Empirischer Leistungsvergleich kommerzieller Software, a.a.O.
- 4) Suhl, U.; Implementationsstechniken für einen Branch-and-Bound-Algorithmus zur Lösung von (0-1)-Programmen, in: Proceedings in Operations Research 7, Würzburg-Wien 1977, S. 497-506

2.4.3. Suboptimale Lösungsverfahren

Historisch betrachtet wurden auf Investitionsprogrammplanungsprobleme zunächst Verfahren angewendet, die nicht notwendigerweise die optimale Lösung ermittelten.¹⁾ Der Grund dafür lag darin, daß weder die Algorithmen noch die zu ihrer Anwendung erforderlichen Rechenanlagen ausreichend weit entwickelt waren.

Ab Mitte der fünfziger Jahre vertraute die Investitionstheorie weitgehend auf den Fortschritt des Operations Research und der Computertechnik und vernachlässigte die Entwicklung eigener Lösungsmethoden für die immer komplexer werdenden Entscheidungsmodelle. "So perfekt die Optimierungsmodelle der ganzzahligen Planungsrechnung auch sein mögen, leiden sie doch an einem Handicap, durch das sie den Praktikern verleidet werden. Sie lassen sich nämlich, von wenigen Ausnahmen abgesehen, mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht mehr lösen, sobald sie eine gewisse Größe überschritten haben."²⁾ Seit Anfang der sebziger Jahre deutlich wurde, daß effiziente Algorithmen zur Lösung gemischt-ganzzahliger Optimierungsprobleme in absehbarer Zeit nicht zur Verfügung stehen würden, gibt es daher Bestrebungen, "Probleme der ganzzahligen Planungsrechnung mit heuristischen Methoden zu behandeln."³⁾ "Der Vorteil der heuristischen Verfahren liegt in den sehr niedrigen Rechenzeiten. Allerdings kann nicht garantiert werden, daß das globale Optimum eines vorgegebenen Problems immer erreicht wird."⁴⁾

- 1) Vgl. Dean, J.; Capital Budgeting, a.a.O. - Iltz, F.A./Iltz, V.; The Theory of Investment of the Firm, a.a.O. - Lortie, J.H./Savage, L.J.; Three Problems in Rationing Capital, a.a.O.
- 2) Müller-Merbach, H.; Operations Research, a.a.O., S. 366
- 3) Kreuzberger, H.; Numerische Erfahrungen mit einem heuristischen Verfahren zur Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, in: DVV 12. Jg. (1970), S. 289-306, hier: S. 289
- 4) Ebendorf

Auch in der Investitionstheorie ist eine Rückbesinnung auf suboptimale Lösungsverfahren festzustellen. ¹⁾

Als suboptimale Lösungsverfahren sollen im folgenden nur solche Methoden betrachtet werden, die eigenständig eine "gute Lösung" für das Entscheidungsproblem oder ein exakt abgegrenztes Teilproblem berechnen, nicht aber solche Techniken, die

- als Vorstufe oder als Element von exakten Lösungsverfahren verwendet werden. Solche 'heuristischen Regeln' sind Bestandteil sowohl des Simplex-Algorithmus wie auch von jedem Entscheidungsbaumverfahren. ²⁾
- sich als 'heuristische Kriterien' bei der Lösung eines ganz speziellen Entscheidungsproblems herausbilden, sich also nicht auf eine bestimmte Problemlasse allgemein anwenden lassen, sondern nur die Aufgabe haben, im Rahmen eines speziellen Lösungsprozesses die Anzahl der zu generierenden Lösungen zu reduzieren. ³⁾

1) Vgl. für den deutschsprachigen Raum Kruschwitz, I.; Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O. und Knappek, S.; Der Einsatz heuristischer Verfahren in der gemischt-ganzzahligen Investitions- und Finanzierungsplanung, Diss. Wien 1977

2) Zur Eignung unterschiedlicher 'heuristischer Regeln' in Entscheidungsbaumverfahren vgl. neben der unter 2.4.1. angegebenen Literatur z.B. Benichou, M./Gauthier, J.M./Girodet, P./Hentges, G./Ribiere, G./Vincant, O.; Experiments in mixed-integer linear programming, in: Mathematical Programming, Vol. 1 (1971), S. 76-94 und Benichou, M./Gauthier, J.M./Hentges, G./Ribiere, G.; The Efficient Solution of large-scale linear programming problems - some algorithmic techniques and computational results, in: Mathematical Programming, Vol. 13 (1977), S. 280-322

3) Zu einer Gewinnung von 'heuristischen Kriterien' bei speziellen Investitionsplanungsproblemen vgl. Blethahn, J./Liefmann, H.P.; Die numerische Behandlung eines gemischt-ganzzahligen Investitionsproblems mit exakten und heuristischen Methoden, a.a.O. und Liefmann, H.P./Blethahn, J.; Zur Anwendung von heuristischen Methoden bei der Optimierung eines gemischt-ganzzahligen und separierbaren Investitionsproblems, a.a.O. sowie Hulst, van, W.G./Fieshout, van, J.T.; Investment/Financial Planning with endogenous lifetimes: A Heuristic Approach to Mixed-Integer Programming, in: RAIRO Vol. 11 (1977), S. 85-101

Abzugrenzen sind die hier betrachteten Suboptimierungsverfahren auch von den Methoden der Mathematik, für die zwar ein Konvergenzbeweis zum Optimum angegeben werden kann, der strenggenommen aber erst nach einer unendlichen Anzahl von Lösungsschritten erfüllt ist. "Nachdem in der Praxis jedes Verfahren nach einer endlichen Zahl von Transformations-schritten abgebrochen werden muß, ¹⁾ ermitteln diese Methoden in aller Regel auch nur eine suboptimale Lösung. Allerdings kann nach Abbruch des Verfahrens nichttrivial angegeben werden, wie weit die erreichte Lösung vom Optimum entfernt ist. Damit gehören diese Methoden nach der oben getroffenen Abgrenzung zu den Optimierungsverfahren. Sie seien nach Streim als Näherungsverfahren bezeichnet. ²⁾

Suboptimale Lösungsmethoden lassen sich definieren als nicht-willkürliche, eigenständige, zumindest auf eine Problemklasse anwendbare Verfahren ohne Konvergenzbeweis. ³⁾ Sie versuchen, zulässige, möglichst "gute" Lösungen des Entscheidungsproblems nach folgenden grundsätzlichen Vorgehensweisen zu erzeugen:

1. Mit einem vorgegebenen Ressourcenvorrat (zum Beispiel an Rechenzeit) ⁴⁾ wird der Raum zulässiger Lösungen durchsucht. Ist der Vorrat verbraucht, wird die Suche abgebrochen und unter den gefundenen Lösungen die zielfunktionsmaximale gewählt.

1) Vgl. Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren - Versuch einer Begriffsklärung, in: ZOR Bd. 19 (1975), S. 143-162, hier: S. 147

2) Vgl. ebendort

3) Vgl. die Einteilung bei Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 151

4) Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 149 ff. hält solche "Kürstlichen Stoppregeln" (Rechenzeit, max. Anzahl von Lösungsschritten etc.) für ein akzessorisches, d.h. im allgemeinen erfülltes Merkmal heuristischer Lösungsmethoden.

2. Die Suche im Lösungsraum wird dann abgebrochen, wenn eine Lösung gefunden wurde, die ein vorgegebenes Anspruchsniveau des Entscheidungsträgers erfüllt. Um zu sichern, daß das Verfahren nach einer endlichen Anzahl von Schritten abbricht, wird zusätzlich eine maximale Schrittzahl oder ein Ressourcenvorrat vorgegeben.
3. Das Verfahren sucht 'autonom', das heißt ohne vorgegebenen Ressourcenvorrat und ohne Anspruchsniveau den Lösungsraum ab. Es ist so konstruiert, daß es nach einer endlichen Anzahl von Schritten abbricht und dann "erfahrungsgemäß" eine gute Lösung mit vertretbarem Aufwand gefunden hat.

Für suboptimale Lösungsverfahren sind in der Literatur bisher zwei unterschiedliche Konzepte entwickelt worden: ¹⁾

- (1) das Konzept der stochastischen Suchverfahren ("sampling technique"), bei dem eine Anzahl von Lösungen zufällig generiert werden;
- (2) das Konzept der (deterministischen) heuristischen Lösungsverfahren, das eine Problemlösung durch Anwendung einer Abfolge plausibler begründbarer, intersubjektiv eindeutiger und operationaler (heuristischer) Regeln ermittelt. ²⁾

¹⁾ Vgl. zu dieser Einteilung etwa Dvick, W.; Diskrete Optimierung, Braunschweig 1977, S. 116 ff.

²⁾ Vgl. zu dieser Kennzeichnung Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O.

zu (1)): Die 'sampling technique' generiert mit Hilfe der

- Monte-Carlo-Simulation ¹⁾ zufällig eine Reihe zulässiger Lösungen für das anstehende (kombinatorische) Planungsproblem. ²⁾ Aus Zufallszahlen werden also in einer speziellen Art von Computersimulation Variablenkonstellationen erzeugt, in das zugrundeliegende Entscheidungsmodell eingesetzt und der jeweilige Zielfunktionswert berechnet. Die Variablenkonstellation mit dem höchsten Zielfunktionswert stellt eine Annäherung an das Optimum dar, deren Güte natürlich abhängt
- von der Anzahl der generierten Variablenkonstellationen (= Simulationsanzahl),
 - von der gewählten Generierungstechnik ('sampling procedure').

¹⁾ Die Monte-Carlo-Technik ist in allen Lehrbüchern zur Simulation ausführlich beschrieben, allerdings fast ausschließlich im Zusammenhang mit der Simulation stochastischer Prozesse.

Vgl. für viele Köcher, D./Matt, G./Oertel, C./Schneeweiß, H.; Einführung in die Simulationstechnik, Frankfurt 1972; Mertens, P.; Simulation, Stuttgart 1969; Witte, T.; Simulationstheorie und ihre Anwendung auf betriebliche Systeme, Wiesbaden 1973

²⁾ Zur 'sampling technique' vgl. Mabert, V.C./Myhrpark, D.C.; Sampling as a solution methodology, in: Decision Sciences Vol. 8 (1977), S. 167-179

Anwendungsfälle dieser Lösungsverfahren finden sich bei Tonge, F.M.; Assembly Line Balancing Using Probabilistic Combinations of Heuristics, in: MS Vol. 11 (1965), S. 727-735; Nugent, C.E./Vollmann, T.E./Ruml, J.; An Experimental Comparison of Techniques for the Assignment of Facilities to Locations, in: OR Vol. 16 (1968), S. 150-173

Auf Investitionsplanungsprobleme wurde diese Methode angewandt von Berry, W.L./Marcus, M./Williams, J.G.; Inventory Investment Analysis Using Biased Sampling Techniques, in: MS Vol. 23 (1977), S. 1295-1306

Mabert/Whybark¹⁾ unterscheiden drei unterschiedliche 'sampling procedures':

a) Beim sogenannten 'random sampling' ist die Wahl jeder Variablen und damit jeder Variablenkombination gleichwahrscheinlich. Stehen zum Beispiel 100 Investitionsobjekte zur Auswahl, so kann jedes Projekt mit der gleichen Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 % in das zu bildende Investitionsprogramm aufgenommen werden. Es ist einsichtig, daß bei dieser rein zufälligen Auswahl der Projekte die Wahrscheinlichkeit, das optimale Programm zu finden, sich proportional zur Simulationsanzahl verhält.

b) Diese Wahrscheinlichkeit versucht das 'biased sampling' zu steigern. Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Projektes wird dabei abhängig gemacht von einer Kennziffer, deren Ausgestaltung problemabhängig ist und die die Güte einer Alternative widerspiegeln soll. Bei der Planung von Investitionsprogrammen wäre es zum Beispiel möglich, die Wahrscheinlichkeit der Wahl eines Projektes von der Höhe seines Kapitalwertes oder eines sonstigen finanzmathematischen Kriteriums abhängig zu machen.²⁾

c) Das 'improvement sampling' gibt die Eintrittswahrscheinlichkeiten nun nicht nur 'ein für allemal' vor, sondern verändert diese im Laufe der Simulationsreihe. Projekte oder Projektkombinationen, die Bestandteil einer schon erzeugten Lösung mit relativ hohem Zielfunktionswert waren, erhalten eine zunehmend höhere

1) Vgl. Mabert, V.A./Whybark, D.C.: Sampling as a Solution Methodology, a.a.O., insbesondere S. 169 ff.

2) Zur Rolle von finanzmathematischen Kriterien in suboptimalen Lösungsverfahren vgl. Abschnitt 6.3.3.

Eintrittswahrscheinlichkeit, während die Wahrscheinlichkeiten bisher schlechter Alternativen abgewertet werden. Das Verfahren versucht somit Erfahrungen auszuwerten und Lernprozesse abzubilden. So könnte es sich bei der Suche nach einem 'guten Investitionsprogramm' anbieten, sich im Laufe der Simulationen 'herauskristallisierende' Basisprogramme, das heißt Projekte, die in allen guten gefundenen Programmen enthalten sind, mit einer so hohen Eintrittswahrscheinlichkeit zu versehen, daß in den Folgesimulationen diese Basisprogramme nur noch um weitere Projekte ergänzt, nicht aber mehr grundlegend verändert werden.

Im einfachsten Fall der 'sampling technique' wird die zufällige Erzeugung zulässiger Lösungen nach Ablauf einer bestimmten Simulationsanzahl abgebrochen. Dies entspricht der Vorgabe eines bestimmten Ressourcenvorrats. Es ist aber auch möglich, die Anzahl der zu erzeugenden Variablenkombinationen von den Ergebnissen der Simulationsreihe selbst abhängig zu machen: Die bisherigen Simulationsergebnisse stellen eine Stichprobe aus der Grundgesamtheit aller möglichen Lösungen dar, deren Anzahl durch die Gesetze der Kombinatorik bestimmt wird. Die Verteilung der Zielwerte der Lösungen der Stichprobe gibt damit einen Anhaltspunkt über die Verteilung der Grundgesamtheit, der desto besser wird, je größer die Stichprobengröße gewählt wird. Im Unterschied zum Beispiel zur stochastischen Simulation, bei der aufgrund der simulierten Stichprobe Konfidenzintervalle für die Parameter (Erwartungswert, Varianz) der Grundgesamtheit abgeschätzt werden und daraufhin die Simulationsanzahl bestimmt

1) Vgl. dazu Blattahn, J.: Optimierung und Simulation - Anwendung verschiedener Optimierungsverfahren auf ein stochastisches Lagerhaltungsproblem, Wiesbaden 1978, S. 36 ff. und Kruschwitz, L./Fischer, J.: Untersuchung über Voraussetzungen, Wahrscheinlichkeit und Bedeutung von Konflikten zwischen den Zielen Erwerb- und Ertrahmaximierung in der Investitionsplanung, a.a.O., S. 46 ff.

wird, ist das (statistische) Problem hier jedoch anders gelagert. Von Interesse für den Entscheidungssträger ist - bei einem Maximierungsproblem - allein die obere Begrenzung der Verteilung der Grundgesamtheit, die die Optimallösung angibt. Das statistische Problem besteht also darin, mit Hilfe einer im Vergleich zur Grundgesamtheit kleinen Stichprobe ¹⁾ die Form und die obere Grenze der diskreten, begrenzten Verteilung der Zielgröße in der Grundgesamtheit abzuschätzen. ²⁾ Der Entscheidungsträger könnte dann angeben, ob das erreichte Konfidenzintervall für die Abweichung vom Optimum bei einer bestimmten Simulationsanzahl für ihn zufriedenstellend ist oder ob weitere Lösungen zu generieren sind.

Allerdings scheint das statistische Instrumentarium für praktische Probleme noch nicht ausreichend entwickelt zu sein, selbst für einfache Probleme werden noch 'biased sampling sizes' von über 10.000 Simulationen für eine begründete Abschätzung benötigt. ³⁾

Praktisch aussichtreicher scheint deswegen ein Vorgehen, analog zu 'Branch-and-Bound-Verfahren' eine obere Grenze für den erreichbaren Ziel funktionswert (upper bound) abzuschätzen und dazu beim zugrundeliegenden Entscheidungsproblem eine Reihe von Nebenbedingungen zu vernachlässigen. Moderne Bound-Abschätzungsfunktionen ⁴⁾ erreichen mit vertretbarem Aufwand

- 1) Bei 100 Projekten gibt es 2¹⁰⁰ Programmalternativen. (Vgl. Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 135) Selbst eine Stichprobe von 10.000 Variablenkombinationen ist im Vergleich dazu sehr klein. (Vgl. Mc Roberts, K.L.; A Search Model for Evaluating Combinatorially Explosive Problems, In: OR, Vol. 19 (1971), S. 1331-1349, hier: S.1334)
- 2) Vgl. dazu denselben und Damberting, D.G.; Procedures for Estimating Optimal Solution Values for Large Combinatorial Problems, In: MS, Vol. 23 (1977), S. 1273-1283
- 3) Vgl. denselben, S. 1280 ff.
- 4) Vgl. Breyer, R./Burdet, C.A.; Branch-and-Bound-Experiments in Zero-One Programming, a.a.O., S. 10 ff.

bei ganzzahligen und gemischt-ganzzahligen Problemen eine sehr gute Abschätzung des erreichbaren Ziel funktionswertes, die Grundlage für eine Festlegung der Simulationsanzahl sein kann. Die 'sampling technique' wurde bisher nur auf einfache kombinatorische Probleme angewendet, die zum Beispiel dadurch gekennzeichnet waren, daß jede mögliche Variablenkonstellation auch eine zulässige Lösung ergab.

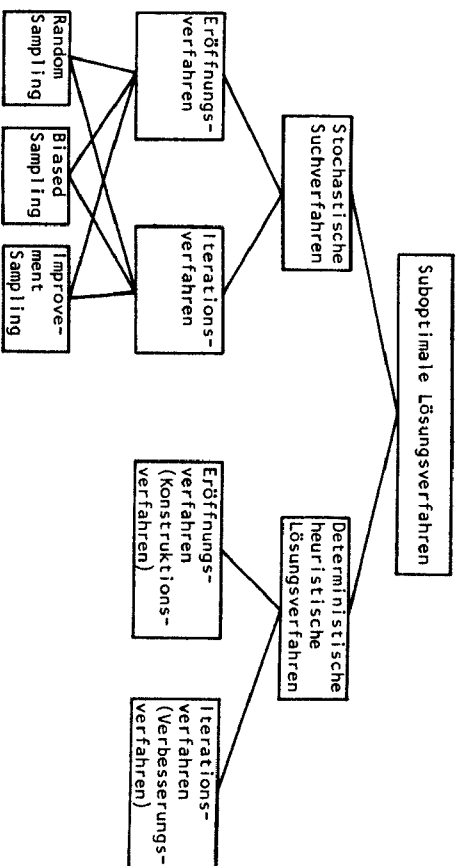


Abb. 19 : Typen suboptimaler Lösungsverfahren

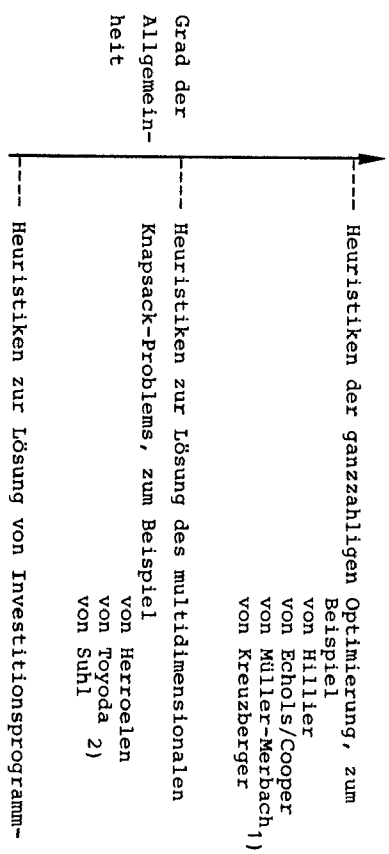
zu (2): Für heuristische Lösungsverfahren liegen demgegenüber viel größere Erfahrungen vor. "Diese bestehen aus bestimmten Vorgehensregeln, die hinsichtlich des angestrebten Zieles und unter Berücksichtigung der Problemstruktur als sinnvoll, zweckmäßig und erfolgversprechend erscheinen, aber nicht immer die optimale Lösung hervorbringen. Der Rechenaufwand ist dafür meistens gering."¹⁾ Die hier interessierenden heuristischen Verfahren für ganzzahlige und gemischt-ganzzahlige Optimierungsprobleme lassen sich einteilen:

- a) nach dem Grad der Allgemeinheit
- b) nach dem Ansatzpunkt des Verfahrens
- c) nach der verfolgten Vorgehensweise

Heuristische Verfahren sind im Vergleich zu Algorithmen weniger allgemein anwendbar, das heißt sie sind nur für bestimmte, formal oder inhaltlich abgegrenzte Problembereiche einsetzbar. 2) Formal läßt sich die hier behandelte Problemlasse durch mehrere Attribute kennzeichnen, die hierarchisch gegliedert werden können: Ganzzahlige oder gemischt-ganzzahlige Optimierung, Auswahlproblem, multidimensionales Knapsack-Problem mit gemischt-positiv/negativer Koeffizientenmatrix et cetera. 3) Eine inhaltliche Abgrenzung ist durch die in Abbildung 13 zu-

- 1) Müller-Merbach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 290. In Abschnitt 4.1. wird eine genauere Abgrenzung heuristischer Verfahren gegeben.
- 2) Vgl. Wehner, J.D.: Heuristische Programmierung, Wiesbaden 1978, S. 19 Streinu, H.: Heuristische Lösungsverfahren - Versuch einer Begriffsklärung, in: ZOR, Bd. 19 (1975), S.143-162, hier: S. 153 unterscheidet zwischen 'materiell-' und 'formal-orientierten Verfahren. Die erste Gruppe orientiert sich an den materiellen, hier inhaltlich genannten, Eigenschaften der zu lösenden Entscheidungsaufgabe, die zweite an den formalen Problemeigenschaften.
- 3) Vgl. dazu Abschnitt 6

sammengestellten Merkmale möglich. Auf Probleme der Investitionsprogrammplanung sind neben speziell dafür entworfenen Heuristiken also heuristische Verfahren der ganzzahligen Optimierung, zur Lösung von Auswahl- und von Knapsackproblemen anwendbar.



- von Hillier
- von Echols/Cooper
- von Müller-Merbach¹⁾
- von Kreuzberger
- von Herroelen
- von Toyoda²⁾
- von Suhl

- von Lortie/Savage
- von Dean
- von Herroelen
- von Kuschwitz

- 1) Einen Überblick über diese Verfahren gibt Müller-Merbach, H.: Operations Research, a.a.O., S.391 ff. Vgl. im einzelnen Hillier, F.S.: Efficient Heuristic Procedures for Integer Programming with an Interior, in: OR Vol. 17 (1969), S.600-637; Echols, R.E./Cooper, L.: Solution of Integer Linear Programming Problems by Direct Search, in: JACOM Vol. 15 (1968), S. 75-84; Müller-Merbach, H.: Das Verfahren der 'vorsichtigen Annäherung' - Eine heuristische Methode zur Lösung gewisser Probleme der ganzzahligen Planungsrechnung, in: Elektronische Datenverarbeitung, 11. Jg. (1969), S.464-466; Kreuzberger, H.: Ein Näherungsverfahren zur Bestimmung ganzzahliger Lösungen bei linearen Optimierungsproblemen, in: Apr, 9. Jg. (1969), S. 137-152
- 2) Vgl. Herroelen, W.S.: Heuristic Methods for the Multidimensional 0/1 Knapsack Problem, in: Economic appliquee, Vol. 27 (1974), S.353-371; Toyoda, Y.: A Simplified Algorithm for Obtaining Approximate Solutions to Zero - One Programming Problems, in: MS, Vol. 21 (1975), S. 1417-1427; Suhl, U.: Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung von (0-1) Programmen mit nicht-negativen Koeffizienten, in: Darbe, H.N. etc. (Hrsg.) Proceedings in Operations Research, 6, Würzburg-Mün 1977
- 3) Vgl. Lortie, J.H./Savage, L.J.: Three Problems in Rationing Capital, a.a.O., Dean, J.: Capital Budgeting, a.a.O., Herroelen, W.S.: Heuristische Programmierung: methodologische bearbeitung en praktische toepassing op complete combinatorische problemen, Ph.D. Thesis Leuven University 1972; Kuschwitz, L.: Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, in: ZfB 47. Jg. (1977), S. 209-224

"Man kann die heuristischen Verfahren generell in zwei Klassen einteilen, in die 'Eröffnungsverfahren' und die 'Iterationsverfahren (exakter: 'iterative heuristische Verfahren')'. Eröffnungsverfahren haben die Aufgabe, eine erste Lösung hervorzubringen. Im Gegensatz dazu wird mit Iterationsverfahren versucht, vorliegende Lösungen schrittweise zu verbessern.¹⁾ Eröffnungsverfahren suchen also im Lösungsraum eine zulässige, möglichst 'gute' Lösung des Entscheidungsproblems. Die Mehrzahl der in der Literatur zu findenden Verfahren ist so konstruiert, daß nach einer endlichen Anzahl von Schritten eine einzige Lösung ermittelt wird.²⁾ Es sind aber auch Verfahren denkbar, die mit variierenden Operatoren so lange Lösungen ermitteln, bis das Anspruchsniveau des Entscheidungssträgers erfüllt oder ein Ressourcenvorrat aufgebraucht ist. Die alternativen Möglichkeiten zur Konstruktion von Eröffnungsverfahren werden an späterer Stelle ausführlich behandelt.³⁾

Entsprechen die mit Eröffnungsverfahren gefundenen Lösungen nicht den Anforderungen des Entscheidungssträgers, sei es, daß die erreichte Lösung vom Zielfunktionswert her unbefriedigend ist oder aber, daß die 'inhaltliche'

1) Müller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, in: ZOR Bd. 20 (1976), S. 69-87, hier: S. 72

Meißner, J.-D.: Bausteine zur Heuristischen Programmierung, Diss. TU Berlin 1978 und derselbe: Eine Typisierung heuristischer Lösungsverfahren, Unveröffentlichtes Manuskript Berlin 1979 wählt statt dem Begriffspaar Eröffnungsverfahren - Iterationsverfahren das Paar Konstruktionsverfahren - Verbesserungsverfahren.

2) Müller-Werbach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 292 hält das für ein Merkmal von Eröffnungsverfahren.

3) Vgl. Abschnitt 6

Zusammensetzung der Lösung nicht seinen impliziten Vorstellungen entspricht, so kann mit Iterationsverfahren versucht werden, die bisher erreichten Lösungen zu verbessern. Im ersten Fall wird man zum Beispiel durch Austausch, Hinzufügen oder Herausnehmen von Elementen eine Erhöhung des Zielfunktionswertes versuchen.

Im zweiten Fall sind gewisse Vorstellungen des Entscheidungssträgers im gelösten Entscheidungsmodell nicht berücksichtigt worden, die erreichte Lösung ist unter bestimmten Aspekten 'unbrauchbar'. Oft gelingt es einem Iterationsverfahren, das diese Aspekte explizit berücksichtigt, mit geringem Aufwand eine befriedigende, entsprechend modifizierte Lösung zu ermitteln. Dann kann die erneute Anwendung des Eröffnungsverfahrens unterbleiben.¹⁾

Heuristische Lösungsverfahren verwenden bei der Strukturierung und Lösung von Problemen eindeutige Konzepte und Prinzipien, die sich in den Elementen des Lösungsverfahrens niederschlagen. Strukturiert man den Zustandsraum möglicher Problemlösungen z.B. als Entscheidungsbaum, so machen die Elemente des jeweiligen heuristischen Verfahrens Aussagen darüber²⁾

1) Eine detaillierte Beschreibung alternativer Vorgehensweisen von Iterationsverfahren wird in Abschnitt 7 gegeben.

2) Vgl. dazu Müller-Werbach, H.: Modelling Techniques and Heuristics for Combinatorial Problems, a.a.O., S. 17 ff.; derselbe, Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 75 ff.; derselbe; Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, in: a.a.O., S. 661 ff. Vgl. auch Meißner, J.-D.: Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 25 ff.

- in welcher Reihenfolge die möglichen Lösungszustände abgearbeitet werden sollen,
- wie die Qualität der aktuell erzeugten Lösung bewertet werden soll,
- welche der erzeugten Lösungen von der weiteren Analyse ausgeschlossen werden sollen,
- wie vom aktuellen Lösungszustand aus eine gute Lösung erzeugt werden soll.

Durch diese klare und eindeutige Strukturierung des Lösungsprozesses unterscheiden sich die heuristischen Lösungsverfahren von der 'sampling technique'. Der Operator¹⁾, der von einer Lösung aus eine neue erzeugt, ist beim letztgenannten Konzept ganz oder teilweise zufallsabhängig, während er bei Heuristiken eindeutig determiniert ist. Die mehrmalige Anwendung einer Heuristik auf ein und dasselbe Problem führt immer zu derselben Lösung, während die gleiche Prozedur mit der 'sampling technique' durchaus zu verschiedenen Lösungen führen kann.²⁾

Vorstellbar ist jedoch sowohl eine Einbeziehung zufallsabhängiger Elemente in heuristische Verfahren³⁾ wie auch

1) Zum Begriff vgl. Meissner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 26 f.
2) Die stochastischen Suchverfahren werden daher zu den willkürlichen und nicht zu den heuristischen Verfahren gezählt. Vgl. Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 148 ff. - Vgl. im Unterschied dazu Dack, W.; Diskrete Optimierung, a.a.O., S. 116
3) Müller-Werbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 85 schlägt zum Beispiel vor, die Ausgangslösung für ein Iterationsverfahren zufällig zu verschlechtern und das Verfahren zu wiederholen, wenn eine Anwendung auf die ursprüngliche Lösung nicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis geführt hat.
Vgl. zu einem solchen Vorgehen auch Reiter, S./Sperman, G.; Discrete Optimization, In: J.Soc. Indust. Appl. Math. Vol. 13 (1965), S. 864-889

die Abbildung heuristischer Strategien in der 'sampling technique', wie es beim 'improved sampling' ja schon geschehen ist.

Gemeinsam ist beiden Konzepten der suboptimalen Lösungsverfahren, daß sie auf die Optimalität der Lösung verzichten, um dadurch den notwendigen Planungsaufwand zu reduzieren. Über Lösungsgüte und Planungsaufwand des Verfahrens herrscht vor der Anwendung auf das konkrete Entscheidungsproblem Unsicherheit. Diese Unsicherheit muß durch Test des jeweiligen Verfahrens an ähnlichen Problemen quantifiziert werden. Durch geeignete Einstellung¹⁾ tests können Aussagen darüber gewonnen werden

- mit welcher Wahrscheinlichkeit das Verfahren eine Lösung ermittelt, die sich in einem Intervall von x & um das Optimum befindet,
- mit welcher Wahrscheinlichkeit der Planungsaufwand²⁾ einen bestimmten Wert nicht überschreitet.

Aufgrund der ökonomischen Bedeutung von Investitionen und der 'Einmaligkeit' jeder Investitionsentscheidung ist vor Anwendung eines nicht-exakten Verfahrens auf ein konkretes Problem ein besonders sorgfältiger Eigentest der jeweiligen Methode notwendig.

1) Vgl. dazu Abschnitt 6.3.5.
2) Zu den Ausprägungen des Planungsaufwandes vgl. Abschnitt 3.2.

3. Die Bedeutung der Investitionsprogrammplanung in der betrieblichen Praxis

3.1. Die Investitionsprogrammplanung in der Praxis - eine Auswertung empirischer Untersuchungen

In einer Reihe von empirischen Untersuchungen wurde versucht festzustellen, ob die von der Betriebswirtschaftslehre angebotenen Entscheidungshilfen zur Investitionsplanung den Erfordernissen der Praxis gerecht werden und dort genutzt werden. Diese Untersuchungen weisen zum Teil erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Anzahl, Branche, Größe und Nationalität der einbezogenen Unternehmen sowie des Untersuchungszeitraums auf, dennoch lassen sich aus ihnen Schlüsse über die Investitionsplanung in der Praxis ziehen. Diese Schlüsse stellen Tendenzaussagen dar, die durch alle herangezogenen Untersuchungen gestützt werden, soweit sie zu den einzelnen Punkten Stellung nehmen. 1) Tabelle 2 gibt einen Überblick

- 1) Untersuchungen über die Investitionsplanung wurden z.B. vorgelegt von (in alphabetischer Ordnung):
 Abdelnour, M.A.: A Guide to Capital Expenditure Analysis, New York 1973; Brigham, E.F./Petway, R.P.: Capital Budgeting by Utilities, in: Financial Management, Autumn 1973, S. 11-22. Brigham, E.F.: Hurdle Rates for screening Capital Expenditure Proposals, in: Financial Management, Autumn 1975, S. 17-26. Christy, G.A.: Capital Budgeting - Current Practice and their Efficiency, Ph.D. Thesis University of Oregon 1966. Fabozzi, F.J.: The Use of Operational Research Techniques for Capital Budgeting Decisions - a Sample Survey, in: Journal of Operational Research Society Vol. 29 (1978), S. 39-42; Fremgen, J.M.: Capital Budgeting Practices - A Survey, in: Management Accounting, May 1973, S. 19-25
 Garshofski, G.W.: Corporate Models - The State of the Art, in: MS Vol. 16 (1970), S. B 303-312
 Gitman, L.J./Portrester, J.R.: A survey of Capital Budgeting Techniques used by major US Firms, in: Financial Management, Summer 1977, S. 66-71
 Grabbe, H.-W.: Investitionsrechnung in der Praxis - Ergebnisse einer Unternehmensbefragung, Köln 1976
 Gutenberg, E.: Untersuchungen über die Investitionsentscheidungen industrieller Unternehmen, Köln 1959
 Honko, J.: Investitionsentscheidungen und ihre Verbindung mit dem Planungs- und Kontrollprozess - eine empirische Untersuchung finnischer

Fortsetzung zu Fußnote 1) von Seite

- Unternehmen, in: ZfB 37. Jg. (1967), S. 423-436
 Honko, J./Virtanen, K.: The Investment Process in Finnish Industrial Enterprises, Helsinki 1975
 Honko, J.: Zum Investitionsverhalten finnischer Industrieunternehmen in: ZfB 29. Jg. (1977), S. 463-474
 Istrvan, D.F.: Capital Expenditure Decisions: How they are made in Large Corporations, Ph.D. Thesis Indiana University, Bloomington 1961
 Klammer, Th.L.: A Study of the Association of Capital Budgeting Techniques with Firm Performance and Firm Characteristics; Ph.D. Thesis University of Wisconsin 1971
 Klammer, Th.L.: Empirical Evidence of the Adoption of Sophisticated Capital Budgeting Techniques, in: Job Vol. 45 (1972), S. 387-397
 Meier, R.E.: Planung, Kontrolle und Organisation des Investitionsentscheidendes, Bern-Stuttgart 1970
 Malzer, F.: Investitionsrechnung in deutschen Industriebetrieben, Arbeitsbericht des Instituts für Unternehmensführung und Unternehmensforschung der Universität Bochum, Nr. 12 (1977)
 Meyer, J.R./Ruh, E.: The Investment Decision - An Empirical Study, Cambridge (Mass.) 1957
 Nolan, T.J./Banda, F.A.: An Empirical Study of the Capital Investment Decision Making Process in Selected Ohio Companies in 1971, in: Akron Business and Economic Review, Spring 1972, S. 10-16 (Part I), June 1972, S. 48-54 (Part II)
 Oursin, Th.: Probleme industrieller Investitionsentscheidungen - Ergebnisse schriftlicher und mündlicher Befragungen des Ifo-Instituts für Wirtschaftsforschung, Berlin-München 1962
 Perty, G.H.: Effective Use of Capital Budgeting Techniques, in: Business Horizons Vol. 18 (1975), S. 57-65
 Perty, J.W./Scott, D.F./Bird, M.M.: The Capital Expenditure Decision-Making Process of Large Corporations, in: TEE Vol. 20 (1975), S. 159-172
 Petty, J.W./Bowlin, O.D.: The Financial Manager and Quantitative Decision Models, in: Financial Management, Winter 1976, S. 32-41
 Pflom, N.P.: Managing Capital Expenditures, New York 1963
 Quirin, D.G.: The Capital Expenditure Decision, Homewood (Illinois) 1974
 Robichek, A.A./Mac Donald, J.G.: Financial Management in Transition, Long Range Planning Service Report No. 268, Stanford Research Institute, Menlo Park California 1966
 Rosenblatt, M.J.: Capital Budgeting Decisions in Multi-Divisions Firms, Ph.D. Diss. Stanford University Palo Alto California 1977
 Schall, L.D./Sundem, G.L./Cejsbeek, W.R.: Survey and Analysis of Capital Budgeting Methods, in: Jof Vol. 33 (1978), S. 281-287
 Scheer, A.-W.: Die industrielle Investitionsentscheidung - Eine theoretische und empirische Untersuchung zum Investitionsverhalten in Industrieunternehmen, Wiesbaden 19769
 Schneider, A.: Darstellung und Erklärungsansätze des Investitionsverhaltens industrieller Unternehmen, a.a.O., 1976
 Van Vleck, R.W.: Capital Expenditure Practices in Large American Corporations, Ph.D. Thesis George Washington University 1976
 Vafare, K.M.: A Survey of Capital Expenditure Procedures and Practices in Industry: Their Practical Application and Effectiveness, Ph.D. Diss. Stanford University Palo Alto California 1975
 Williams, R.P.: Industry Practices in Allocating Capital Resources, in: Managerial Planning, May 1970, S. 15-22

über die ausgewerteten Untersuchungen. Betrachtet wurden neben Untersuchungen, die sich speziell mit der Investitionsplanung beschäftigen auch allgemeine Erhebungen über die Planungssysteme und Planungsmethoden der Praxis, soweit daraus Aussagen über die Investitionsplanung abgeleitet werden konnten. ¹⁾

- ¹⁾ Ausgewertet wurden die Untersuchungen von Brockhoff, K.; Planung und Prognose in deutschen Großunternehmen - Ergebnisse einer Umfrage; in: DZ Jg. (1974), H. 18, S. 838-841
derselbe; Planung in mittelgroßen Industrieunternehmen - Ergebnisse einer Umfrage, in: Die Unternehmung, 29. Jg. (1975), S. 303-317
Göbler, R.; Operations-Research-Praxis - Einsatzformen und Ergebnisse, Wiesbaden 1974
Heinhold, M./Nische, C./Papadopoulos, G.; Empirische Untersuchung von Schwerpunkten der OR-Praxis in 525 Industriebetrieben der BRD, in: ZOR, Bd. 22 (1978), S. B 185- B 218
Marinoff, G.M.; Operational Research in Twenty Companies in Australian Private Industry, in: Operational Research Quarterly, Vol. 26 (1975), S. 369-374
Mans, G.; Stand und Entwicklung von Planungssystemen in Unternehmen der BRD - Analyse einer empirischen Untersuchung; in: Grochla, E./Szygorski, N. (Hrsg.), Modell- und Computergestützte Unternehmensplanung, Wiesbaden 1973, S. 41-63
Naylor, H./Schauland, H.; A Survey of Users of Corporate Planning Models, in: MS Vol. 22 (1976), S. 927-937
Schumacher, C.C./Smith, B.E.; A Sample Survey of Industrial Operations Research, in: OR Vol. 13 (1965), S. 1023-1027
Steinbeck, V./Seifert, O./Ohse, D.; Lineare Planungsmodelle im praktischen Einsatz - Auswertung einer Erhebung, DGOR - Schrift 6, Köln-Frankfurt 1973
Töpfer, A.; Planungs- und Kontrollsysteme industrieller Unternehmen - Eine theoretisch, technologische und empirische Analyse, Berlin 1975
Thomas, G./Pacosta, J.A.; A Sample Survey of Corporate Operations Research, in: INTERFACES Vol. 9 (1979), S. 102-111
Turban, E.; A Sample Survey of Operations-Research Activities at the Corporate Level, in: OR Vol. 20 (1972), S. 708-721

Der Überblick zeigt, daß vor allem Untersuchungen aus den siebziger Jahren ausgewertet wurden. Der Grund dafür ist, daß zu diesem Zeitpunkt die theoretische Diskussion über die Investitionsprogrammplanung weitgehend abgeschlossen war ¹⁾ und die Ergebnisse in die betriebswirtschaftliche Lehre einfließen und damit auch der Praxis zur Verfügung gestellt wurden. ²⁾ Bezogen auf die Investitionsprogrammplanung lassen sich folgende Thesen aufstellen: ³⁾

- (1) Die überwiegende Zahl aller Mittel- und Großunternehmen stellt formale Investitionspläne auf. Pläne mit einer Reichweite bis zu einem Jahr werden von fast allen Unternehmen aufgestellt. Relativ häufig existieren auch noch Pläne mit einer Zeitdauer von zwei bis fünf Jahren. Mit einer längeren Zeitdauer planen nur noch wenige (etwa 10 %) Firmen. ⁴⁾

- ¹⁾ Vgl. dazu Moxter, A.; Offene Probleme der Investitions- und Finanzierungslehre, in: ZfBf 17. Jg. (1965), S. 1-10
Jansen, G.; Betriebswirtschaftliche Investitionsmodelle und praktische Investitionsrechnung, in: ZfBf 19. Jg. (1967), S. 48-57
Schneider, E.; Kritisches und Positives zur Theorie der Investition, in: Weltwirtschaftsarchiv Band 98 (1967), S. 314-348
²⁾ Einige Branchen, wie zum Beispiel die Mineralölindustrie, haben schon früher mit der Nutzung entsprechender Planungsmodelle begonnen. Vgl. zum Beispiel Koenig, J.W.; Dynamische Optimierungsmodelle der chemischen Industrie, Diss. Hamburg 1968
³⁾ Thesen zur allgemeinen Investitionsplanung stellt Licker, K.; Zur Investitionsplanung und Investitionsrechnung in der betrieblichen Praxis, in: WiSt 5 Jg. (1976), S. 509-514 und derselbe; Entwicklung und Stand der Investitionsplanung, in: Licker, K. (Hrsg.), Investitionsplanung, München 1977, S. 1-18, hier: S. 11 ff. auf.
⁴⁾ Im folgenden wird eine verkürzte Zitierweise verwendet, die genauen Quellen sind in den Fußnoten der Seite 146 ffdieser Arbeit angegeben. Vgl. hier: Brockhoff, S. 313; Töpfer, S. 286; Schneider, S. 183 ff. Meier, S. 84 ff.

Autoren	Inhalte	Zeitraum	Branchen	Einbezogene Unternehmen	Untersuchungsmethode	Untersuchungsumfang	Regionaler Bereich
Gutenberg	Inv.	1954-56	9 IB	Großunterm.	IN	80 Untern.	B R D
Honko	Inv.	1963-64	3 IB	Großunterm.	FB - fest	40 Untern.	Finnland
Scheer	Inv.	1965-66	Industrie	Groß-/Mitt.	FB - fest	500 Untern.	B R D
Meier	Inv.	1968-69	Maschinenbau	alle Untern.	FB - offen	169/412 ¹⁾	Schweiz
Genshelski	Unt.	1969	21 IB	K.A.	FB	323/178 ²⁾	U S A
Abdelas-mad	Inv.	1968-70	24 IB	Großunterm.	FB - IN	229/673	U S A
Klammer	Inv.	1970	12 IB	Großunterm.	FB - fest	184/369	U S A
Miller	Unt.	1970	14 IB	Großunterm.	FB	40 Untern.	U S A
Fremgen	Inv.	1971	alle	alle Größen	FB	177/250	U S A
Brigham/Pettyway	Inv.	1972	Bergbau	Öffentliche Unternehmen	FB - offen	728/116 ³⁾	U S A
Steinbocker/Selbert/Chase	OR	1972-73	alle	OR-Anwender	FB - offen	83/700	B R D
Göbeler	OR	1973	alle	Invest 200 Mio. DM	FB - fest	269/750	B R D
Van Vlack	Inv.	1973	alle	Großunterm.	FB	241/650	U S A
Brochhoff	Unt.	1973-74	alle IB	Groß-/Mitt.	FB	213 Mittel-/Bo Großunterm.	B R D
Grabbe	Inv.	1974	alle	Investiztions-sten	FB - offen	169/370	B R D
Brigham	Inv.	1974	K.A.	Großunterm.	FB - IN	33 Untern.	U S A
Töpfer	Unt.	1974	alle	1000 Beschäftigte	FB	355/1527	B R D
Fabozzi	Inv./OR	1974	alle	Op-Anwender	FB - fest	184/1000	U S A
Petty	Inv.	1974-75	alle	Investiztions-ben	FB	284/550	U S A
Petty/Scott/Bird	Inv.	1974-75	alle	Investiztions-ben	FB	109/500	U S A
Schneider	Inv.	1975	Maschinenbau/Flaktrockendr.	alle Größen	FB - IN	93 Untern.	B R D/ Raum Nürnberg
Petty/Bowlin	Inv./OR	1975-76	alle	Großunterm.	FB - IN	227/500	U S A
Marinoff	OR	1975	alle	Großunterm.	FB	20	Australien
Gilman/Forrester	Inv.	1976	alle	Großunterm.	FB - fest	110/268	U S A
Meizer	Inv.	1976	13 IB	alle Größen	IN	26 Untern.	B R D
Heithold/Nitscher/Papadopoulos	OR	1977	alle	750 Beschäftigte	FB	125/525	B R D
Schall/Strauss/Geljsbeck	Inv.	1977	alle	Anleger-mögen 200 Mio.	FB - IN	189/407	U S A

Abkürzungen: Inv./OR/Unt. = Im Mittelpunkt der Untersuchung stand der Investitionsplanungsprozess / die Anwendung von Grenzfalls-Research-Verfahren / die Unternehmensplanung; IB = untersucht wurden nur Industrieunternehmen (speziell Banken, Versicherungsgesellschaften und Banken); IN = Interview/; FB = Fragebogen mit fest vorgegebenen Antworten bzw. mit offenen Antwortmöglichkeiten.

1) 149 von 412 angeschriebenen Unternehmen haben geantwortet.
 2) 223 Unternehmen, das sind 17% der angeschriebenen Firmen haben geantwortet.
 3) 728 der 110 angeschriebenen Unternehmen haben geantwortet.

Tab. 2 : Ausgewählte empirische Untersuchungen über den Investitionsplanungsprozess und die dabei verwendeten Planungstechniken in Unternehmen (in chronologischer Reihenfolge)

(2) Etwa drei Viertel aller Firmen stehen bei der Aufstellung des Investitionsplans vor dem Problem, das mehr Projekte zur Wahl stehen als finanziert werden können. Etwa die Hälfte hat jedes Jahr diesen Finanzierungsengpaß zu beachten, die anderen in regelmäßigen Abständen.¹⁾

Jahr	Prozentsatz der Firmen mit Finanzierungsengpässen
1959	71 %
1965	80 %
1971	73 %
1975	58 %
1977	86 %

1) Tabelle 3 : 2) Prozentsatz der Unternehmen in den USA, die bei der Investitionsplanung Finanzierungsengpässe berücksichtigen müssen

(3) Der Finanzierungsengpaß stellt sich dabei nur selten - speziell bei Konzernunternehmen - als starrer Höchstbetrag dar, sondern ist in der Regel durch Bereichsvorgaben der Kapitalgeber, der Banken oder des Management gegeben. Wichtige Gründe für Finanzierungsengpässe sind: 3)

- 1) Vgl. Fremgen, S. 23 ff.; Gilman/Forrester, S. 69; Brigham/Pettyway, S. 18
- 2) Entnommen aus Rosenblatt, M.J./Jucker, J.V.: Capital Expenditure Decision/Making: Some Tools and Trends, in: Interfaces Vol. 9 (1979), S. 63-69, hier: S. 66
- 3) Vgl. Fremgen, S. 24 f.; Schneider, S. 223 ff.; Gilman/Forrester, S. 69; Brigham/Pettyway, S. 18 ff.

- Vorgaben der Gläubiger
- Vorgaben des Konzernmanagements, der Kapitaleigner et cetera
- Fehlender Zugang zum Kapitalmarkt
- "Freiwillige" Beschränkung der Fremdfinanzierung aus Gründen der Unabhängigkeit et cetera
- Das Streben nach Einhaltung gewisser Finanzierungsstrukturen.

(4) Wird die Investitionstätigkeit durch finanzielle Nebenbedingungen eingengt, so verfahren die weitaus meisten Firmen wie folgt: Die Projekte werden nach einem der 'klassischen Verfahren' der Investitionsrechnung¹⁾ in eine Rangfolge gebracht. Entsprechend dieser Rangordnung werden die Investitionen solange zur Realisierung vorgeschlagen, bis die Finanzmittel erschöpft sind.²⁾ Bei der Ableitung des Investitionsprogramms werden dabei fast immer die Maßstäbe benutzt, die auch bei der Beurteilung von einzelnen Projekten verwendet wurden. Eindeutig bevorzugt wird hier der interne Zinssatz, gefolgt von der statischen Rentabilität und der Amortisationszeit.

(5) Neben finanziellen Restriktionen haben viele Unternehmen noch andere ökonomische, gesetzliche oder technische Abhängigkeiten und Bedingungen bei der Investitionstätigkeit zu beachten. Solche Faktoren sind zum Beispiel

1) Kostenvergleichsrechnung, Gewinnvergleichsrechnung, Rentabilitätsrechnung, Amortisationszeit, Kapitalwert, Interner Zinsfuß, Annuitätentmethode.

2) Vgl. Fremgen, S. 24

3) Vgl. Fremgen, S. 22 f. und Petty/Scott/Bird, S. 165 f.; Van Vleck, S. 137 ff.

- die Notwendigkeit, bestehende Produktlinien fortzuführen, weil absatzmäßige Abhängigkeiten oder Lieferverpflichtungen bestehen.
- Gesetzliche Vorschriften
- Soziale oder technische Erfordernisse

In einigen Fällen sind diese Faktoren so zwingend, daß die betreffenden Projekte keiner weiteren ökonomischen Beurteilung unterzogen werden,¹⁾ meist sind jedoch die in der finanziellen Beurteilung erfaßten Faktoren bedeutender.²⁾

(6) Zur Berücksichtigung von Restriktionen und Interdependenzen in der Investitionsplanung werden von der Theorie Verfahren des Operations Research vorgeschlagen. "There has been a spectacular growth in the use of OR/MS methods for the purpose of capital budgeting."³⁾ In den USA stieg der Anteil von Unternehmen, die im Rahmen der Investitionsplanung komplexe Operations Research Verfahren verwenden von 11 & im Jahre 1958, über 39 & für 1964 auf 56 & für das Jahr 1977.⁴⁾ In der Bundesrepublik verwenden 53 & der Großunternehmen (Umsatz 2000 Mio. DM) entsprechende Techniken, jedoch nur 29 & der Mittelunternehmen (Umsatz 500 Mio DM) und 18 & der kleineren Unternehmen.⁵⁾ Allerdings ist die Stich-

1) Vgl. Schneider, S. 160 ff.; Van Vleck, S. 147 ff.

2) Vgl. Petty/Scott/Bird, S. 166

3) Thomas/Da Costa, S. 106

4) Dieselben, S. 107

5) Vgl. Heinrich/Nitsche/Papadopoulos, S. B 194

probengröße der zuletzt herangezogenen Untersuchung sehr klein (15 größere, 17 mittlere und ebenfalls 17 kleinere Unternehmen).

Die von der Investitionstheorie vorgeschlagenen Methoden lassen sich in zwei Kategorien einteilen:

- Mathematische Programmierung,
- Simulation.

Tabelle 4 stellt die Verwendungshäufigkeiten zusammen, die die einzelnen Untersuchungen für die beiden Kategorien angeben:

	Programmierung	Simulation
Abdelsamad (1970)	29 %	43 %
Klammer (1970)	21 % (31 Fälle)	28 %
Fremgen (1971)	17 % (24 Fälle)	keine Angabe
Fabozzi (1974)	12 % (39 Fälle)	13 % a)
Van Vleck (1973)	keine Angabe	22,5 % a)
Petty/Scott/Bird (1974-1975)	keine Angabe	25 % a)
Petty/Bowlin (1975-1976)	25,3 %	33,6 %
Heinhold/Nitsche/Papadopoulos (1977-1978)	2 Fälle	7 Fälle

- a) Verfasser verstehen unter Simulation explizit nur Risikoanalyse nach Hertz¹⁾.

Sieben der acht angegebenen Untersuchungen beziehen sich auf die USA. Dort scheinen Verfahren des Operations Research sehr viel stärker in der Investitionsplanung verwendet zu werden als in der Bundesrepublik Deutschland.²⁾ Unter Einschluss der Risikoanalyse als spezielle Form der Simulation sind diese

1) Vgl. Hertz, D.B.; Risk Analysis in Capital Investment, in: HBR Vol. 42 (1964), S. 95-106

2) Es sei allerdings darauf hingewiesen, daß Operations Research in den USA in einer weiteren Begriffsfassung verwendet wird als in Deutschland.

Ansätze stärker verbreitet als Optimierungsmodelle.

Simulationsverfahren werden von der Theorie für den Vergleich alternativer Projekte oder Programme empfohlen, Verfahren der mathematischen Programmierung hingegen zur Zusammenstellung von Investitionsprogrammen. Die erste Spalte der Tabelle 4 könnte somit ein Indiz für die Verbreitung einer expliziten Investitionsprogrammplanung in der Praxis sein.

- (7) Firmen, die komplexe Investitionsplanungsverfahren verwenden, sind in aller Regel zufriedener mit den erzielten Ergebnissen.¹⁾ Als Vorzüge gegenüber den traditionellen Investitionsrechnungsverfahren empfinden sie: 2)

- die Verdeutlichung der Variablen und Abhängigkeiten des Entscheidungsproblems,
- den Zwang zur Formalisierung des Entscheidungsprozesses,
- die explizite Risikoabschätzung bzw. Sensitivitätsanalyse,
- die Möglichkeit zu Alternativrechnungen.

- (8) Als Hindernisse, die einer weiteren Verbreitung komplexer Investitionsplanungstechniken im Wege stehen, wurden genannt: 3)

- die zu geringe Ausbildung der Beteiligten,
- der zu hohe Abstraktionsgrad der angebotenen Modelle und die wenig anwenderfreundliche Fachliteratur,
- das Problem der Datengewinnung sei bei der Investitionsplanung oft weit schwieriger als das Problem der

1) Vgl. Fabozzi, S. 41 f. und Petty/Bowlin, S. 40

2) Vgl. ebendort

3) Vgl. Petty/Bowlin, S. 39 f. und Heinhold/Nitsche/Papadopoulos, S. B 207 f.

Auswahl einer Alternative, ¹⁾

- 'Modell- und Computerscheu' der Entscheidungsträger,
- die notwendige Implementierung komplizierterer Rechenverfahren,
- die zu hohen Kosten für Modell- und Algorithmenimplementierung und Anwendung.

Unternehmen, die in anderen Bereichen Operations-Research-Verfahren verwenden, stehen einer Anwendung auch in der Investitionsplanung meist positiv gegenüber, ²⁾ während diese Techniken nicht nutzende Firmen oft generell den praktischen Nutzen der Verfahren anzweifeln. ³⁾

Generell kann aufgrund der auswerteten empirischen Untersuchungen dem Resümee von Heinhold/Nitsche/Papadopoulos zugestimmt werden: "Die Modelle, die Lösungsverfahren und die einmal erhaltenen Lösungen sollten verständlicher und transparenter sein. Da exakte Lösungsverfahren meist mit hohem Rechenaufwand verbunden sind und die Eingabedaten zu meist nur näherungsweise angegeben werden können, würden viele der befragten Firmen einfache Näherungsverfahren, die zu praktikablen Näherungslösungen führen, den aufwendigen exakten Verfahren vorziehen." ⁴⁾

1) Vgl. Franggen, S. 24 f.; Grabbe, S. 38 ff.

2) Vgl. Klammer, S. 389 ff.

3) Vgl. Grabbe, S. 56 und Heinhold/Nitsche/Papadopoulos, S. B 191

4) Heinhold/Nitsche/Papadopoulos; Empirische Untersuchung von Schwerpunkten der OR-Praxis in 525 Industriebetrieben der BRD, a.a.O., S. B 207

3.2. Mögliche Ursachen der geringen Anwendungshäufigkeit von Investitionsprogrammplanungsmodellen

Aus den empirischen Untersuchungen ergibt sich, daß Modelle zur Investitionsprogrammplanung in der Praxis weit weniger verbreitet sind, als es die intensive theoretische Diskussion dieser Ansätze vermuten läßt. Dies gilt insbesondere für die Bundesrepublik, wo zur Zeit wohl kaum mehr als 10 Optimalplanungsmodelle in der Industrie praktisch 'laufen', ¹⁾ während die Zahl der theoretischen Abhandlungen über solche Investitionsplanungsinstrumente kaum mehr zu überblicken ist.

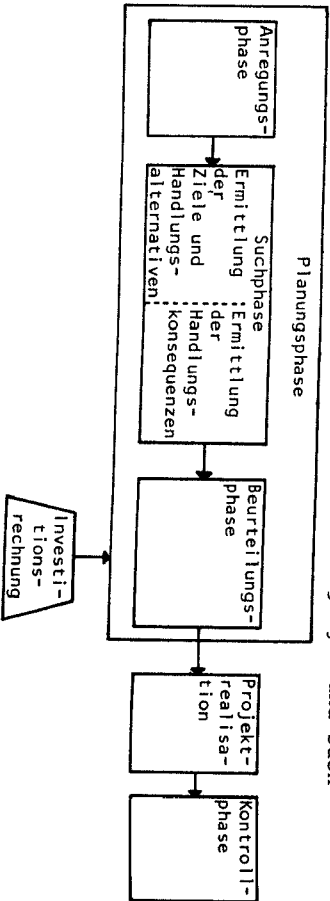
In diesem Teil soll versucht werden, die möglichen Ursachen für diese trotz aller theoretischen Vorteile zu konstatierende geringe Anwendungshäufigkeit herauszufinden.

3.2.1. Die Vernachlässigung wesentlicher Phasen des Entscheidungsprozesses

Ein möglicher Grund für die geringe Verwendung von Investitionsprogrammplanungsmodellen könnte sein, daß die in diesen Modellen abgebildete Entscheidungssituation nur unzureichend

1) Über den praktischen (laufenden ?) Einsatz komplexer Investitionsprogrammplanungsmodelle in deutschen Unternehmen berichten Mentzel/K./Scholz, M.; (1971) - Bamba, F.; Simultane Produktions- und Investitionsprogrammplanung im Anlagenbau mit Hilfe der linearen Planungsrechnung - Eine empirische Untersuchung, Diss. Erlangen-Nürnberg 1974 und derselbe; Ein Modellsystem der Produktions- und Investitionsprogrammplanung mit linearer Planungsrechnung, In: ZOR Bd. 21 (1977), S. B 177-196 sowie Jacob, H.; Die Anwendung der gemischt-ganzzahligen Programmierung auf Investitionsprobleme in der Erdölindustrie, In: derselbe; Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der linearen Programmierung, 3. Aufl. Wiesbaden 1976, S. 137-167

mit der realen Situation des Investors übereinstimmt. Im einzelnen kann das bedeuten, daß die Elemente der realen Entscheidungssituation falsch abgebildet werden oder daß die Modelle einzelne Phasen des Entscheidungsprozesses überbetonen und andere vernachlässigen. Von den Phasen der Investitionsplanung beschäffigen sich die Modelle schwerpunktmäßig allein mit der Beurteilungsphase, die von den Unternehmen als weit weniger schwierig und kritisch angesehen wird als die Anregungs- und Such-



phase (Inclusive der Zieldefinition und der Datengewinnung) einerseits und die Projektimplementierung und Projektkontrolle andererseits. ¹⁾ Die Beschränkung der Modelle auf die Beurteilungsphase kann auf ihre Verwendung folgenden Einfluß haben:

- a) Durch eine nicht systematisierte Anregungs- und Suchphase wird die Anzahl der Handlungsalternativen von vornherein so eingeschränkt, daß einfache technische oder wirtschaftliche Auswahlmaßstäbe nur ein Investitionsprogramm ¹⁾ Vgl. Freeman, J.M.: *Capital Budgeting Practises - A Survey*, a.a.O., S.25; Gitman, L.J./Forrester, J.R.: *A Survey of Capital Budgeting Techniques used by major US. Firms*, a.a.O., S. 68; Brigham, E.F./Petway, R.H.: *Capital Budgeting by Utilities*, a.a.O., S. 19 f. Vgl. auch Schneider; Darstellung und Erklärungsansätze des Investitionsverhaltens industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 169 ff. Vgl. Blohm, H./Licker, K.; *Investition*, a.a.O., S. 5 ff.

- b) Stehen keine Instrumente zur Verfügung, um die vom Entscheidungsmodell benötigten Daten in der Suchphase zu gewinnen, ²⁾ so wird der Nutzen des Modells vom Investor notwendigerweise gering eingeschätzt, da 'jedes Modell nur so gut ist wie seine Eingabedaten'. Dem Entscheidungsträger erscheinen für die vorhandene Datenbasis die 'klassischen' Investitionsrechenverfahren ausreichend.
- c) Eine nicht systematische Investitionskontrolle kann bewirken, ³⁾ daß der Nutzen komplexer Planungsmethoden unter-, ihr Planungsaufwand hingegen überschätzt wird und die Verfahren aufgrund so ermittelter, ungünstiger Kosten-Nutzen-Relationen abgelehnt werden.

In Anlehnung an Scheer kann somit festgestellt werden: ⁴⁾ "Die Bedeutung von Investitionsrechnungen bei der Investitionsentscheidung hängt .. von" den anderen Phasen "des Entscheidungsprozesses ab. Bei planmäßiger Suche nach Investitionsmöglichkeiten tritt die Investitionsrechnung stärker in Erscheinung als bei mehr oder weniger erzwungenen Investitionen."

- 1) Vgl. Scheer, A.-W.; *Die industrielle Investitionsentscheidung*, a.a.O., S. 140 ff. und S. 154 ff. sowie Meier, R.E.; *Planung, Kontrolle und Organisation des Investitionsentscheidens*, a.a.O., S. 33 f.
- 2) Zu den Schwierigkeiten der Praxis bei der Datenbeschaffung vgl. ebendort, S. 58 f.
- 3) Zur Vorbereitung einer systematischen Investitionskontrolle in der Praxis vgl. ebendort, S. 105 ff. und Klammer, Th.P.; *A Study of the Association of Capital Budgeting Techniques with Firm Performance and Firm Characteristics*, a.a.O., S. 61 ff. und S. 141 ff. sowie Licker, K.; *Investitionskontrolle*, a.a.O., S. 19 ff. und Schneider, A.; *Darstellung und Erklärungsansätze des Investitionsverhaltens industrieller Unternehmen*, a.a.O., S. 327 ff.
- 4) Scheer, A.-W.; *Die industrielle Investitionsentscheidung*, a.a.O., S. 156

Die Beseitigung dieser Ursache ist nur durch eine stärkere Berücksichtigung der vorgelagerten Planungsphasen in den Verfahren zur Investitionsprogrammplanung möglich. Hier wäre zum Beispiel an ein computergestütztes Investitions-gesamtplanungssystem¹⁾ zu denken, das

- in Datenbanken²⁾ die für die Investitionsplanung relevanten Daten aus dem Rechnungswesen der Unternehmung erfaßt,
- in Methodenbanken Prognose- und Beurteilungsinstrumente zur Verfügung stellt

- und diese Elemente in einem Mensch-Maschine-Kommunikationssystem miteinander verknüpft.³⁾

Eine andere Möglichkeit, die weniger computertechnische Voraussetzungen bedingt und damit auf mittlere Sicht erfolgversprechender ist, wäre die Erarbeitung klarer Handlungsanweisungen für die Anregungs- und Suchphase zum Beispiel durch die jeweiligen Industrieverbände.

3.2.2. Die unzureichende Abbildung der realen Problemstellung

Ein zweiter Grund für die geringe Verbreitung komplexer Investitionsmodelle könnte darin liegen, daß die Elemente der realen Entscheidungssituation von den Modellen zur Investi-

1) Einen Überblick über die bisher vorgeschlagenen Systeme gibt Lidder, K.: Zur Investitionsplanung und Investitionsrechnung in der betrieblichen Praxis, a.a.O., S. 512 ff.

2) Zu den Begriffen vgl. Mertens, P./Grisee, J.: Industrielle Datenverarbeitung, Bd. 2: Informations- und Planungssysteme, 2. Auflage Wiesbaden 1972, S. 31 ff.

3) Ein praktikables System für Investitionsentscheidungen entwickelt Emmert, P.: Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschine-Kommunikationssystem, Diss. Nürnberg-Stralaußen 1974

tionsprogrammplanung falsch abgebildet werden. Für die Praxis wäre es dann sinnlos, ja sogar gefährlich die von der Betriebswirtschaftslehre angebotenen Ansätze zu akzeptieren. Wie im 2. Abschnitt im einzelnen erläutert, läßt sich eine Entscheidungssituation durch die Ausprägungen folgender Elemente kennzeichnen:¹⁾

- a) Handlungsalternativen
- b) Handlungskonsequenzen
- c) Entscheidungszielsystem
- d) Umweltbedingungen
- e) Planungszeitraum

zu a) Die Zahl der Handlungsalternativen und deren Abhängigkeiten voneinander entscheiden darüber, ob die Praxis mit der Problemstellung der Investitionsprogrammplanung konfrontiert ist.²⁾ Im letzten Abschnitt wurde angesprochen, daß diese Zahl entscheidend von der Organisation des Anregungs- und Suchprozesses abhängt. Einen weiteren wichtigen Einfluß hat die Organisation der Investitionsbeurteilungs- und -entscheidungsphase. Grundsätzlich sind zwei Vorgehensweisen denkbar: Entscheidet der Investor laufend über Projekte, d.h. sobald diese auf ein ökonomisches Entscheidungsniveau aufbereitet sind, so handelt es sich in der Regel um Investitionseinzelentscheidungen. Findet die Investitionsentscheidung hingegen in periodischen Abständen

1) Vgl. dazu die Abschnitte 2.2.2. und 2.2.3.

2) Vgl. Bhaskar, K.: Linear Programming and Capital Budgeting: The Financing Problem, in: Journal of Business Finance & Accounting Vol. 5 (1978), S. 159-194, hier: S. 185 ff.

statt, so wird in aller Regel über gesamte Investitionsprogramme entschieden. Theoretische Untersuchungen belegen die Überlegenheit dieser zweiten Organisationsform.¹⁾

Empirische Untersuchungen zeigen hingegen, daß die Praxis etwa über die Hälfte aller Projekte lautend, das heißt kontinuierlich entscheidet.²⁾ Dabei handelt es sich sicher häufig, aber keineswegs ausschließlich um 'kurzfristig notwendige' Investitionen oder aber um solche geringerer Bedeutung.³⁾ Die Bedeutung solcher laufenden Investitionsentscheidungen nimmt mit zunehmender Größe der Unternehmung ab.⁴⁾ Daneben existiert in allen Unternehmen ein Investitionsplan⁵⁾, der die Investitionsvorhaben zumindest des folgenden Jahres erfaßt. Dabei stellt eine zentrale Abteilung alle in der Folgeperiode zu realisierenden Projekte mit ihrem jeweiligen Finanzbedarf zusammen und stellt sie den Finanzierungsmöglichkeiten gegenüber. Die Projekte werden dabei nach ihrer Dringlichkeit geordnet, wobei neben wirtschaftlichen vor allem technische

- 1) Vgl. Parra-Vasquez, A.S./Oakford, R.V.: Simulation as a Technique for Comparing Decision Procedures, in: TEE Vol. 21 (1976), S. 221-236 und Parra-Vasquez, A.S.: Simulation of Financial Decision over Time, Department of Industrial Engineering Technical Report 74-3, Stanford University 1974
- 2) Vgl. Schneider, A.: Darstellung und Erklärungsansätze des Investitionsverhaltens industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 250
- 3) Vgl. eberdort und Schaefer, A.-W.: Die industrielle Investitionsentscheidung, a.a.O., S. 136
- 4) Vgl. Schneider, A.: Darstellung und Erklärungsansätze des Investitionsverhaltens industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 201 f. im Anhang
- 5) Vgl. Kpfer, A.: Planungs- und Kontrollsysteme industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 284

Gesichtspunkte zum Tragen kommen. Obwohl also offensichtlich in allen Grobbetrieben und in den weitaus meisten Klein- und Mittelbetrieben für die finanziell bedeutendsten Projekte so verfahren wird, werden die dafür entwickelten Methoden der Investitionsprogrammplanung kaum angewendet.¹⁾

zu b) Ein zentrales Problem der Investitionsplanung ist die Unsicherheit der Handlungskonsequenzen der Entscheidungsalternativen. Die Investitionstheorie hat eine Reihe von Vorschlägen zur Berücksichtigung dieser Unsicherheit in der Investitionsprogrammplanung gemacht.²⁾ Allerdings sind diese Lösungsvorschläge auch nach Meinung der Theorie bisher nicht praktikabel.³⁾ Zudem bestehen Differenzen zwischen Theorie und Praxis darüber, worin sich das Risiko von Investitionen überhaupt ausdrückt.⁴⁾ Auf der anderen Seite bezieht die Mehrzahl der Unternehmen Risikoberlegungen explizit in den Auswahlpro-

- 1) Vgl. Meier, R.E.: Planung, Kontrolle und Organisation des Investitionsentscheidens, insbesondere S. 96 ff.
- 2) Einen Überblick über diese Verfahren geben z.B. Blohm, H./Lüder, K.: Investition, a.a.O., S. 255 ff. und Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 269 ff. - vgl. dort auch die kritischen Anmerkungen zur Praktikabilität der Verfahren.
- 3) Vgl. Born, A.: Entscheidungsmodelle zur Investitionsplanung - Ein Beitrag zur Theorie der "flexiblen" Planung, Wiesbaden 1976
- 4) Vgl. Mao, J.C.T.: Survey of Capital Budgeting: Theory and Practice, in: Jof Vol. 25 (1970), S. 349-360, hier: S. 351 ff. und Petty, W./Scott, D.F./Bird, M.M.: The Capital Expenditure Decision-Making Process of Large Corporations, a.a.O., S. 166 f.

28 von Investitionen ein¹⁾, wenn auch aus der Sicht der Theorie zum Teil mit unzureichenden Methoden wie der Amortisationszeit.²⁾ Es existiert also folgende Situation: Die Praxis verlangt nach Methoden zur Berücksichtigung der Unsicherheit, die Theorie kann praktikable Instrumente für die Investitionsprogrammplanung nicht bereitstellen. So krass stellt sich die Situation allerdings real nicht dar; die von Theoretikern als unzureichend empfundenen, von der Praxis jedoch überwiegend verwendeten Verfahren wie zum Beispiel die Sensitivitätsanalyse sind auch für die Investitionsprogrammplanung hoch entwickelt.³⁾

zu c) Die Investitionsmotive der Praxis sind vielschichtig.⁴⁾ Das Zielsystem umfaßt neben monetären auch nicht-monetäre Ziele, die sich zum Teil nur schwer quantifizieren lassen.⁵⁾ Demgegenüber bilden die bekanntesten Ent-

1) Vgl. z.B. Petry, G.H.; Effective Use of Capital Budgeting Tools, a.a.O., S. 64 f.; Brigham, E.F./Petway, R.H.; Capital Budgeting by Utilities, a.a.O., S. 17
 Fremgen, J.M.; Capital Budgeting Practises: A Survey, a.a.O., S. 22;
 Gilman, L.J./Forrester, J.R.; A Survey of Capital Budgeting Techniques Used by Major US Firms, a.a.O., S. 69 f.; Klammer, Th.; Empirical Evidence of the Adoption of Sophisticated Capital Budgeting Techniques, a.a.O., S. 391 f.

2) Vgl. dort auch die zur Berücksichtigung der Unsicherheit verwendeten Methoden und ihre Anwendungsfähigkeit. Zur theoretischen Kritik an der Amortisationszeit vgl. z.B. Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 43 f.

3) Vgl. z.B. Schwehm, J.; Integrierte Unternehmensplanung, a.a.O., S. 108 ff.

4) Vgl. zum theoretischen Hintergrund Dinkelbach, Werner; Sensitivitätsanalyse und parametrische Optimierung, Berlin-Heidelberg-New York 1969
 4) Vgl. z.B. Scheer, A.-W.; Die Industrielle Investitionsentscheidung, a.a.O., S. 119 ff. und Schneider, A.; Darstellung und Erklärungsansätze des Investitionsverhaltens Industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 91 ff. Vgl. auch Hedeler, G.; Die Motivation von Investitionsentscheidungen in der Unternehmens- - Eine verhaltenswissenschaftliche Studie, Meisenheim am Glan 1971

5) Eine empirische Untersuchung über qualitative Kriterien bei der Investitionsentscheidung findet sich bei Bammert, Peter, H.; Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschine-Kommunikations-System, a.a.O., S. 88 ff. und bei Van Vlack, R.W.; Capital Expenditure Practises in Large American Corporations, a.a.O., S. 141 ff.

scheidungsmodelle zur Investitionsprogrammplanung nur quantifizierbare, ein-dimensionale Ziele in ihrer Zielfunktion ab. Wie oben erwähnt können daneben zu befriedigende Ziele in Nebenbedingungen berücksichtigt werden.¹⁾ Damit bieten diese Ansätze weit mehr Möglichkeiten zur Berücksichtigung mehrerer Ziele als die klassischen Methoden. Zudem dominiert auch in der Praxis das Gewinnziel.²⁾

zu d) Bei Investitionsentscheidungen der Praxis sind eine Reihe von ökonomischen und technischen Nebenbedingungen zu beachten.³⁾ Die Verfahren der Investitionsprogrammplanung bieten die Möglichkeit, diese Abhängigkeiten in einem Planungsschritt zu beachten und machen dadurch tendenziell eine separate Beurteilung zum Beispiel der Kapazität, der Anforderungen an Arbeitskräfte, der finanziellen, absatzmäßigen und steuerlichen Auswirkungen überflüssig. Allerdings erhalten die Modelle dann in vielen Fällen eine so hohe Komplexität, daß sie vielfach mit vertretbarem Aufwand nicht mehr lösbar sind.⁴⁾

1) Vgl. Abschnitt 2.

2) Vgl. Schneider, A.; Darstellung und Erklärungsansätze des Investitionsverhaltens Industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 95
 Vgl. auch Heinen, E.; Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., 1. Beitrag: Die Zielfunktion der Unternehmensleitung, S. 35 und Czeranowski, G./Strutz, H.; Ergebnisse einer empirischen Untersuchung über Unternehmensziele, In: SZU Bd. 11 (1970), S. 121-124

3) Vgl. Seite 49ff.leser Arbeit

4) Zur detaillierten Abbildung des Finanzierungsbereichs vgl. Waldmann, J.; Optimale Unternehmensfinanzierung, Wiesbaden 1972, des Personalbereiches Demsch, M.; Simultane Personal- und Investitionsplanung im Produktionsbereich, Bielefeld 1970, des Steuerbereiches Grundmann, H.-R.; Optimale Investitions- und Finanzplanung unter Berücksichtigung der Steuern, Diss. Hamburg 1973, Zur Berücksichtigung mehrerer Aspekte in einem praktischen Planungsmodell vgl. Wentzel, K./Scholtz, M.; Integrierte Verkaufs-, Produktions- und Investitionsplanung, a.a.O.

zu e) Das gleiche gilt bei der Abbildung des Aktions- und Ergebnishorizontes. Auch hier wird die Grenze durch die technischen Beschränkungen der Datengewinnung und Lösungsverfahren, nicht aber durch die Konstruktion der Entscheidungsmodelle gezogen.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß die Investitionsprogrammplanungsmodelle die Möglichkeit bieten, eine größere Genauigkeit bei Abbildung der realen Entscheidungssituation des Investors zu erreichen. Sie sind unter diesem Gesichtspunkt den klassischen Investitionsrechenverfahren eindeutig überlegen. Im Gegensatz zu diesen allgemein verwendbaren 'Rechenregeln' sind die von der Literatur vorgeschlagenen Modelle aber nicht als genereller Lösungsansatz für die Entscheidungssituation der Investitionsprogrammplanung zu verstehen. "Vielmehr ist für jeden konkreten Fall ein individuelles Modell zu erstellen, das alle zu berücksichtigenden Umstände - und damit vor allem auch das Datenproblem - beachtet. Die lediglich analoge Anwendung von vorhandenen Modellen auf konkrete Problemsituationen führt im allgemeinen zur Abkehr von der Realität."¹⁾ Wichtiger als die Formulierung neuer Entscheidungsmodelle durch die Theorie, die von der Praxis oft als der Vorschlag von 'Patentrezepten' mißverstanden werden, erscheint deshalb die Entwicklung einer Methodologie zur Konstruktion von Investitionsplanungsmodellen und der dazugehörigen Lösungsverfahren.²⁾ Da diese Methodologie nicht vorhanden ist, die bekannten Modelle oftmals auf prakt-

1) Reinhold, M./Nitsche, C./Papadopoulos, G.: Empirische Untersuchung von Schwerpunkten der OR-Praxis in 525 Industriebetrieben der BRD, a.a.O., S. 208

2) Zur Methodologie beim Entwurf von Investitionsplanungsmodellen vgl. Hantsman, F.: Operations Research Techniques for Capital Investment, 2. ed. Huntington 1974
Vgl. auch Müller-Merbach, H.: Quantitative Entscheidungsvorbereitung - Erwartungen, Enttäuschungen, Chancen, a.a.O., S. 19 ff.

tische Problemstellungen aber nicht 'passen', werden die komplexen Ansätze nur von solchen Firmen verwendet, die mit eigenen Ressourcen diese Lücke überwinden können.

3.2.3. Der Planungsaufwand von Investitionsprogrammplanungsmodellen

"Bei Vernachlässigung des Problems der Datenermittlung läßt sich die Überlegenheit theoretisch perfektionierter Simultan-Modelle gegenüber einfacheren Verfahren des sukzessiven Entscheidungsprozesses immer nachweisen."¹⁾ "Zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit in der praktischen Anwendung reicht das aber nicht aus; es müßte bewiesen werden, daß das theoretisch genauere Modell in den in der Praxis tatsächlich vorkommenden Entscheidungssituationen um soviel bessere Ergebnisse liefert, daß mindestens die Kosten der Modellbildung, der Datenbeschaffung und der Optimierungsrechnung gedeckt sind."²⁾

Der Planungsaufwand bei Anwendung eines betriebswirtschaftlichen Entscheidungsmodells besteht generell aus folgenden Teilen:

1) Frieschmuth, G.: Daten als Grundlage für Investitionsentscheidungen - Theoretische Anforderungen und praktische Möglichkeiten der Datenermittlung im Rahmen des investitionspolitischen Entscheidungsprozesses, Berlin 1969, S. 188 ff.

2) Hax, H.: Bewertungsprobleme bei der Formulierung von Zielfunktionen für Entscheidungsmodelle, in: ZfBF 19. Jg. (1967), S. 749-761; hier: S. 761 - vgl. auch Morter, A.: Offene Probleme der Investitions- und Finanzierungstheorie, in: ZfBF 17. Jg. (1965), S. 1-10, hier: S. 9 f. und Schmidt, R.: Mehrperiodige Portfolioleplanung, in: Albach, H./Simon, H. (Hrsg.): Investitionstheorie und Investitionspolitik privater und öffentlicher Unternehmen, Wiesbaden 1976, S. 167-193, speziell S. 180 ff.

1. dem zeitlichen und monetären Aufwand zur Entwicklung eines die unternehmensspezifischen Bedingungen berücksichtigenden Entscheidungsmodells (Entwicklungsaufwand);
 2. dem Aufwand zur Implementierung des Modells und der zugehörigen Lösungsverfahren in einem Datenverarbeitungssystem (Implementierungsaufwand);
 3. dem Aufwand zur Ermittlung der vom Modell benötigten Informationen und deren Bereitstellung in einer vom Datenverarbeitungssystem lesbaren Form (Datengewinnungsaufwand);
 4. dem Aufwand zur Lösung des Modells, bis eine den Entscheidungsträger befriedigende Lösung erreicht ist (Lösungsaufwand);
 5. dem Aufwand zur Vermittlung der Ergebnisse der Planungsrechnung an die Entscheidungsträger (Vermittlungsaufwand).
- Diese Entwicklung eines komplexen, linearen Planungsmodells dauert mindestens 6 Manmonate, häufig aber auch mehr als ein Mannjahr. ¹⁾ Diese Dauer kann durch den Einsatz von OR-Spezialisten oder externen Beratern kaum gesenkt werden. ²⁾ Die Entwicklungskosten für ein Investitionsprogrammplanungsmodell werden damit kaum unter 100.000 DM liegen. ³⁾
- 1) Vgl. Steinecke, V./Seifert, O./Ohse, D.; Lineare Planungsmodelle im praktischen Einsatz, a.a.O., S. 48 ff. und Gößler, R.; Operations-Research Praxis, a.a.O., S. 149 ff.
 - 2) Vgl. denselben, S. 151 ff.
 - 3) Der Tagessatz für einen Unternehmensberater liegt nach telefonischen Auskünften zwischen 700,- und 1.000,- DM.

- Die Lösungsverfahren für ein entsprechendes Modell können vom jeweiligen Unternehmen aufgrund ihrer Komplexität nur selten selbst erstellt werden, sondern müssen als Standardsoftware bezogen werden. Die Mieten betragen pro Jahr etwa 25.000,- DM. ¹⁾ Hinzu kommt, daß entsprechende Lösungssoftware bestimmte Mindest-Computerkonfigurationen voraussetzt. ²⁾ Kann die Unternehmung dieses Programmsystem nicht in anderen Planungsprozessen nutzen ³⁾, so ist es sinnvoll, externe Rechenkapazität anzumieten. Die Kosten für einen Rechenlauf liegen je nach Problemgröße zwischen 600,- und 1.000,- DM. ⁴⁾ Sie entsprechen damit den Kosten, die sich auch in internen Rechenzentren ergeben. ⁵⁾
- "Das Datenproblem äußert sich .. in dem Konflikt zwischen den Daten, die das konventionelle Rechnungswesen zu liefern in der Lage ist und den Daten, die in OR-Modelle eingehen." ⁶⁾ In der Investitionsplanung wird das Problem dadurch verschärft, daß Zukunftsdaten für lange Zeiträume benötigt werden, die sich aus den betriebsinternen gespeicherten Daten nur zu einem geringen Teil ableiten lassen. Die Aussage "Die meisten in die Rechnung eingehenden Größen werden in der Kostenrechnung für die Angebots- und Nachkalkulation ohne
- 1) Lauf telefonischen Auskünften der Firma IBM (Programmsystem MFSX-MLP) und CDC (Programmsystem APEX III)
 - 2) Vgl. Schmitz, P.; Voraussetzungen für die Gestaltung computergestützter Entscheidungssysteme, in: EDV (1970), S. 401-405, S. 402 f.
 - 3) Mineralölkonzerne scheinen für ihre Produktionsplanung lineare Planungsmodelle kontinuierlich zu verwenden.
 - 4) Vgl. Steinecke, V./Seifert, O./Ohse, D.; Lineare Planungsmodelle im praktischen Einsatz, a.a.O., S. 54 ff.
 - 5) Nach telefonischen Auskünften der Firmen IBM und CDC.
 - 6) Der Verfasser dankt Herrn Dr. op de Hipt, Pa. Phillips Hamburg, für detaillierte Angaben über die bei der Durchrechnung von Planungsmodellen entstehenden Kosten.
 - 6) Gößler, R.; Operations-Research Praxis, a.a.O., S. 191

hin benötigt und ermittelt." ¹⁾ mag zwar die Investitionsrechnung in der Praxis charakterisieren ²⁾, für Investitionsprogrammplanungsmodelle ist sie aber nicht zutreffend.

Zur Gewinnung der hier benötigten Wert- und Mengengrößen sind in aller Regel 'Sonderaktionen' erforderlich, bei beabsichtigter laufender Anwendung ggf. eine Reorganisation des Rechnungs- und Informationswesens. ³⁾

Trotz der zunehmenden Verbreitung von computergestützten Informationssystemen und hochentwickelter Prognoseverfahren ⁴⁾ werden Datengewinnungsprobleme als einer der wichtigsten Mängel komplexer Planungsmodelle genannt. ⁵⁾ Fehlende Daten sind auch einer der wichtigsten Gründe für das Scheitern von Projekten, die die Einführung solcher Modelle zum Ziel hatten. ⁶⁾

"The purpose of mathematical programming is insight, not numbers." ⁷⁾ Es kommt also weniger darauf an, wie die Optimallösung eines Entscheidungsmodells für eine gegebene Darstellung aussieht, als darauf, warum diese so aussieht.

- 1) Melzer, F.: Investitionsrechnung in deutschen Industriebetrieben, a.a.O., S. 64
- 2) Vgl. auch Schneider, A.: Darstellung und Erklärungsansätze des Investitionsverhaltens industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 190 ff.
- 3) Vgl. Göbller, R.: Operations-Research Praxis, a.a.O., S. 192 ff.
- 4) Vgl. Brockhoff, K.: Planung und Prognose in Großunternehmen, a.a.O., S. 840 f. und Töpfer, A.: Planungs- und Kontrollsysteme industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 293 f.
- 5) Vgl. Grabbe, H.-W.: Investitionsrechnung in der Praxis, a.a.O., S. 56 und Heitold, M./Nitsche, C./Papadopoulos, G.: Empirische Untersuchung von Schwerpunkten der OR-Praxis in 525 Industriebetrieben der BRD, a.a.O., S. B 208.
- 6) Vgl. Göbller, R.: Operations-Research Praxis, a.a.O., S. 192 ff.
- 7) Geoffrion, A.M.: The Purpose of Mathematical Programming is Insight, not Numbers, in: Interfaces Vol. 7 (1976), S. 81-92

Ein Grund dafür ist, daß nur in wenigen Fällen eine direkte Übertragung der Ergebnisse des Entscheidungsmodells auf die reale Planungssituation möglich ist. Meist müssen verdichtete Daten disaggregiert, vereinfachte Beziehungen auf die ursprüngliche Komplexität zurückgeführt und die Auswirkungen alternativer Modellannahmen studiert werden, um eine real brauchbare Lösung abzuleiten.

Ein weiterer Grund für eine eingehende Diskussion der Modellannahmen und -ergebnisse liegt in der Person des Entscheidungsträgers. Kein Investor wird den Ergebnissen eines Modells vertrauen, dessen Funktionsweise er nicht durchschaut und über dessen Nutzen keine Erfahrungen vorliegen. ¹⁾ Investitionsprogrammplanungsmodelle sind hier gegenüber den leicht einschätzigen 'klassischen Kriterien' wie zum Beispiel der statischen Rentabilität oder dem internen Zinssatz eindeutig im Nachteil. Die Eingabedaten sind durchsichtig, der Rechenweg leicht nachvollziehbar und die Ergebnisse (insbesondere bei einem Zinssatz) vordergründig leicht interpretierbar.

Um diesen Nachteil der komplexen Entscheidungsmodelle auszugleichen, ist eine Beteiligung der Entscheidungsträger schon in der Entwicklungsphase und bei der Datengewinnung notwendig. Modellstruktur und Eingabedaten müssen die vom Investor als bedeutsam erachteten Einflußfaktoren vollständig abbilden. Die Ergebnisse einer Modellrechnung müssen weiterhin so aufbereitet werden, daß sie vom Entscheidungsträger unmittelbar verarbeitet werden können. Die bisherigen Programmsysteme zur Lösung linearer Planungsmodelle sind dazu nicht in der Lage, der von ihnen gelieferte Ausdruck ist nur OR-Fachleuten verständlich.

1) Vgl. Pfohl, H.-Th.: Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, in: Die Unternehmung, 30. Jg. (1976), S. 73-93

Vergleicht man den Planungsaufwand von Investitionsprogrammplanungsmodellen mit dem der klassischen Investitionsrechenverfahren, so ist festzustellen, daß dieser um ein Mehrfaches höher liegt: Die Entwicklung eines unternehmensspezifischen Modells ist in aller Regel nicht erforderlich, den Lösungsalgorithmus bilden die vier Grundrechenarten, die erforderlichen Eingabedaten sind weniger umfangreich und Rechen- und Vermittlungsaufwand sind vernachlässigbar klein. Ob der Mehraufwand eines Investitionsprogrammplanungsmodells durch die besseren Ergebnisse gerechtfertigt ist, läßt sich generell nur schwer ableiten.¹⁾ Empirische Untersuchungen besagen allerdings, daß die Anwender komplexer Investitionsplanungsmethoden fast ohne Ausnahmen mit den jeweiligen Verfahren zufrieden sind.²⁾

1) Vgl. Abschnitt 5

2) Vgl. Fabozzi, F.J.: *The Use of Operational Research Techniques for Capital Budgeting Decisions - A Sample Survey*, a.a.O., S. 42 und Petty, J.W./Bowlin, O.D.: *The Financial Manager and Quantitative Decision Models*, a.a.O., S. 40

4. Heuristische Methoden als Mittel zur Senkung des Planungsaufwandes von Investitionsprogrammplanungsmethoden

4.1. Merkmale heuristischer Methoden

Seit deutlich wurde, daß zur Lösung vieler ökonomischer Planungsprobleme in absehbarer Zeit keine effizienten Algorithmen zur Verfügung stehen werden, "werden in der Literatur als Hilfsmittel zur Entscheidungsvorbereitung in verstärktem Maße sogenannte heuristische Lösungsverfahren propagiert."¹⁾ Allerdings hat sich bisher keine einheitliche Definition des Begriffs "Heuristik" herausgebildet.²⁾ Die Ursache für die fehlende Präzisierung des Begriffes liegt zum einen in dem Wortstamm (heuriskein = zum Finden geeignet - altgriechisch), da ja alle angewendeten Methoden in irgendeiner Form zum Finden einer Problemlösung geeignet sind, zum anderen aber auch in der Vielfalt der Forschungsdisziplinen begründet, die sich mit der Entwicklung heuristischer Methoden befassen. Hier reicht das Spektrum von der Psychologie bis hin zur Mathematik. Auch in dieser Arbeit wird auf eine allumfassende Definition verzichtet. Stattdessen wird versucht, den Terminus "heuristische Methode" durch Ableitung von Merkmalen zu explizieren und zu systematisieren.³⁾ Bekanntlich sind Begriffsdefinitionen und Systematisierungen nicht wahr oder falsch. "Die Frage sollte vielmehr dahin gehen, ob die vorgeschlagene Antwort adäquat ist oder nicht."⁴⁾

1) Streim, H.; *Heuristische Lösungsverfahren*, a.a.O., S. 143

2) Vgl. ebendort und Klein, H.K.; *Heuristische Entscheidungsmodelle*, a.a.O., S. 35

3) Zu einem ähnlichen Vorgehen vgl. Streim, H.; *Heuristische Lösungsverfahren*, a.a.O.

4) Carnap, R.; *Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit*, Wien 1959, S. 12 - Zitiert nach Streim, H.; *Heuristische Lösungsverfahren*, a.a.O., S. 143

4.1.1. Das Merkmal "Reduktion des Problemlösungsaufwandes"

"... we may describe a heuristic as any device or procedure used to reduce problem-solving effort - in short, a rule of thumb used to solve a particular problem."¹⁾ Ähnlich definieren auch andere Autoren heuristische Problemlösungsmethoden²⁾ als Faustregeln, die dazu beitragen, "daß im Durchschnitt der Zeitaufwand zur Lösung von Entscheidungsaufgaben verringert wird."³⁾ Vergleichsmaßstab ist dabei nach allgemeiner Ansicht der Lösungsaufwand, den die Anwendung eines Algorithmus verursachen würde.⁴⁾ Allerdings ist dieser Maßstab nur für einen Teil der heuristischen Verfahren sinnvoll anwendbar, da Heuristiken bevorzugt für sogenannte "unvollständig formulierte Entscheidungsaufgaben" aufgestellt werden, für die laut Definition kein zulässiger Algorithmus bekannt ist.⁵⁾

Vernachlässigt man zunächst die Frage des sinnvollen Vergleichsmaßstabes, so kann die Reduktion des Lösungsaufwandes offensichtlich auf zwei Faktoren beruhen:

- 1) West, J.D.: Heuristic Programs for Decision Making, in: Harvard Business Review (1966), S. 129-143, hier: S. 130
- 2) Vgl. u.a. Terge, F.M.: The Use of Heuristic Programming in Management Science - A Survey of the Literature, in: MS Vol. 7 (1961), S. 231-237, hier: S. 231; Feigenbaum, E.A./Feldman, J.: Computers and Thought - A collection of articles, New York - San Francisco 1963, S. 6 und Herroelen, W.S.: Heuristic programming in Operations Management, in: Die Unternehmung, 26. Jg. (1972), S. 213-231, hier: S. 213 f.
- 3) Klein, H.-K.: Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 36. Siehe auch die dort angegebene Literatur.
- 4) Zum Algorithmusbegriff vgl. Ebdort, S. 33
- 5) Vgl. Ebdort, S. 34 und Abschnitt 4.1.

(1) Eine Heuristik erbringt nicht die gleichen Leistungen wie eine andere Lösungsmethode. Hierzu gehören die im Anschluß erörterte fehlende Lösungsgarantie, aber beispielsweise auch fehlende Hilfen bei der Interpretation der Lösung (Sensitivitätsanalysen etc.).

(2) Eine Heuristik sucht im Lösungsraum gezielter nach guten Lösungen als zum Beispiel ein Algorithmus. Durch selektiv wirkende Operatoren werden mögliche, aber weniger interessante Alternativen aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.¹⁾ Heuristische Verfahren sind so strukturiert, daß ein Teil der potentiellen Lösungen nicht generiert wird.²⁾ Diese Vernachlässigung eines Teils der Lösungsalternativen kann zum Beispiel durch eine Abbildung der spezifischen Problemeigenschaften im heuristischen Lösungsverfahren begründet werden, die im Algorithmus aufgrund seiner allgemeinen Verwendbarkeit nicht möglich ist. Unter dem Merkmal "Spezifische Problemorientierung" wird diese Ursache des geringeren Lösungsaufwandes näher diskutiert werden.

Verfahren, die willkürlich Elemente des Lösungsraumes aus der weiteren Betrachtung ausschließen, sollen in Anlehnung an Streim als "willkürliche Verfahren" bezeichnet werden.³⁾ "Als 'heuristisch' gelten Verfahren nur dann, wenn der Einsatz selektiv wirkender Entscheidungsoperatoren begründet werden kann. Diese Begründung ist induktiv orientiert und stützt sich auf (systematisch geordnetes) Wissen über die Problemsituation, mögliches Akteurenverhalten und Problemlösungsverfahren, auf Analogien und mehr oder weniger plausible Vermutungen."⁴⁾

- 1) Vgl. Herroelen, W.S.: Heuristic Programming in Operations Management, a.a.O., S. 214 und Streim, H.: Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 147
- 2) Ebdort
- 3) Derselbe, S. 148
- 4) Imboden, C./Leibundgut, A./Siegenthaler, P.: Klassifikation heuristischer Prinzipien, a.a.O., S. 304

4.1.2. Das Merkmal "Fehlende Lösungsgarantie und Nicht-optimalität"

"Heuristics do not guarantee optimal solutions, in fact, they do not guarantee any solution at all; all that can be said for a useful heuristic is that it offers solutions which are good enough most of the time."¹⁾

Von einem Algorithmus unterscheidet sich eine Heuristik also unter anderem dadurch, daß sie im Mittel zwar den Planungsaufwand verringert, gewissermaßen als Preis dafür aber im Durchschnitt nur eine gute, im Einzelfall aber durchaus auch gar keine Lösung des aufgeworfenen Problems erreicht.²⁾ Allerdings gilt diese Abgrenzung wiederum nur für Probleme, die sowohl durch Algorithmen wie auch durch heuristische Verfahren lösbar sind. Solche sogenannten wohldefinierten Entscheidungsprobleme liegen vor, "wenn an Hand der Aufgabenstellung auf methodische Weise entschieden werden kann, wann eine vorgeschlagene Alternative als Lösung zu akzeptieren ist."³⁾ Der Entscheidungsprozeß in einer solchen Situation ist bis ins Detail festgelegt und daher letztlich programmierbar⁴⁾, zur Problemlösung sind schöpferische Prozesse nicht notwendig.⁵⁾ Bei der großen Klasse der schlecht-definierten

- 1) Feigenbaum, E.A./Feldman, J.: Computers and Thought, a.a.O., S. 6, vgl. auch Ulrich, W.: Einführung in die heuristischen Methoden des Problemlösens, in: WISU (1976), S. 251-256, hier: S. 251 und Beler, U.: Zur Anwendung heuristischer Entscheidungsmethoden bei der Bestimmung eines Konsumprogramms, a.a.O., S. 201
- 2) Vgl. Kirsch, W.: Entscheidungsprozesse, Bd. II, a.a.O., S. 156
- 3) Klein, H.-K.: Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 35, vgl. auch Minsky, M.: Steps toward Artificial Intelligence, in: Feigenbaum, E.A./Feldman, J. (ed.), Computers and Thought, a.a.O., S. 406-450, hier: S. 408
- 4) Vgl. Kirsch, W.: Entscheidungsprozesse, Bd. II, a.a.O., S. 144
- 5) Vgl. Landau, I.N.: Über das Wechselverhältnis von heuristischen und algorithmischen Prozessen, S. 337 ff.

ierten Probleme sind die heuristischen Methoden Konkurrenzlos. Da sie die einzige Möglichkeit darstellen, bei solchen Problemstellungen überhaupt eine Lösung zu erreichen, das Optimum somit nicht feststellbar ist, kommt es hier darauf an, wie oft eine Heuristik gute Lösungen erzielt.

In beiden Fällen muß die durchschnittliche Lösungsgüte einer Heuristik in vergleichenden Tests ermittelt werden, bevor sie für die Lösung einer konkreten Entscheidungsaufgabe eingesetzt wird. Vergleichsbasis ist dabei bei wohldefinierten, numerisch fassbaren Problemen die Lösung eines Algorithmus, in den anderen Fällen die Lösung eines alternativen Heuristiken.¹⁾ Nur auf der Basis solcher Tests ist eine Aussage über die Effizienz einer Heuristik, also über das Verhältnis von Lösungsgüte zu Planungsaufwand möglich.²⁾ Die Notwendigkeit vergleichender Tests ist somit ein weiteres Merkmal zur Abgrenzung von Heuristiken gegenüber Algorithmen.

4.1.3. Das Merkmal der "Spezifischen Problemorientierung"

"Heuristische Verfahren haben im allgemeinen im Vergleich mit Algorithmen einen geringeren Allgemeinheitegrad, das heißt sie sind jeweils nur problembereichsspezifisch einsetzbar."³⁾ Häufig werden sie für das zu lösende Problem speziell entwickelt.⁴⁾ "Since every type of individual problem

- 1) Vgl. zum Heuristiktest Abschnitt 6.3.4.
- 2) Vgl. Pfohl, H.-Ch.: Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 195
- 3) Meissner, J.-D.: Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 19
- 4) Vgl. Pfohl, H.-Ch.: Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 195 und Müller-Merbach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 290

has its own peculiar properties, it also requires its own individual heuristic method for solution."¹⁾ Wie erwähnt, ist diese Spezialisierung eine wesentliche Ursache dafür, daß Heuristiken im Vergleich zu Algorithmen den Planungsaufwand senken.

Die Problemorientierung kann dabei entweder auf die formalen oder auf die materiellen Eigenschaften der zu lösenden Entscheidungsaufgabe abstellen. Formal-orientierte Heuristiken sind für alle Probleme anwendbar, die die gleiche formale Struktur aufweisen. Hier sind vor allem die 'Standardprobleme' des Operations Research wie zum Beispiel das Knapsack-, das Zuordnungs- oder das Reihenfolgeproblem zu nennen. Im Unterschied dazu wurden 'materiell-orientierte' Heuristiken für bestimmte ökonomische Probleme zum Beispiel der Investitions-, der Standort- oder der Produktionsablaufplanung entwickelt und sind trotz unter Umständen gleicher formaler Struktur nicht auf andere Problemstellungen übertragbar.²⁾

Heuristische Verfahren bestehen in der Regel aus mehreren heuristischen Prinzipien.³⁾ Diese Prinzipien oder auch Regeln legen die Struktur und den Ablauf sowie die einzelnen Schritte des Problemlösungsprozesses fest.⁴⁾ Für diese einzelnen Elemente heuristischer Verfahren gilt das Merkmal der Problemorientierung nur eingeschränkt. Die Literatur unterscheidet spezielle heuristische Prinzipien (special-

- 1) Müller-Merbach, H.: Heuristic Methods: Structures, Applications, Computational Experience, in: Cottle, R./Krarup, J.: Optimization Methods for Resource Allocation, London 1974, S. 401-416, S. 401
- 2) Vgl. Streim, H.: Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 153
- 3) Vgl. für viele Beleg, U.: Zur Anwendung heuristischer Entscheidungsverfahren bei der Bestimmung eines Konsumprogramms, a.a.O., S. 201 und Kirsch, W.: Entscheidungsprozesse I, a.a.O., S. 158 ff.
- 4) Vgl. Weismar, J.-D.: Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 10

purpose heuristics), die nur für bestimmte Probleme sinnvoll sind und allgemeine Prinzipien (general-purpose heuristics), die unabhängig von bestimmten Aufgabenbereichen sinnvolle Handlungsanweisungen für den Lösungsprozeß geben können.¹⁾ Neuere Forschungsansätze versuchen, diese Bauelemente heuristischer Verfahren zu systematisieren, bezüglich ihrer Anwendungsvoraussetzungen zu analysieren und daraus allgemeine Empfehlungen für die Gestaltung heuristischer Verfahren abzuleiten.²⁾ Mit dieser Suche nach einer allgemeinen Entwurfsmethodologie für heuristische Verfahren sollen die Nachteile eines zu problemspezifischen Heuristikentwurfs³⁾ vermieden werden. "Ohne Methodologien und allgemeine Anweisungen, die zu einer Systematik zwingen, bleibt der Entwurf von Algorithmen eine von Zufälligkeiten, Inspiration und Intuition abhängige Kunst, deren Vollendung nur wenigen Experten gelingen mag, während der Rest der Algorithmentwerfer zum Dilettantismus verurteilt ist."⁴⁾

- 1) Vgl. Reigenbaum, E.A./Feidman, J.: Computers and Thought, S. 6 und Kirsch, W.: Entscheidungsprozesse, Bd. 1, S. 94 sowie Bd. 2, S. 158 f.
- 2) Vgl. Müller-Merbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O. Vgl. auch Weismar, J.-D.: Heuristische Programmierung, a.a.O. und Imboden, C./Leibundgut, A./Siegenthaler, P.: Klassifikation heuristischer Prinzipien, a.a.O.
- 3) Vgl. dazu Herroelen, W.: heuristische programmatische - methodologische beiderling en praktische toepassing op complexe combinatorische problemen, Leuven 1972, S. 19 ff. und derselbe, Heuristisch programming in operations management, a.a.O., S. 216 ff. sowie Müller-Merbach, H.: Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 656 ff.
- 4) Ebendort, S. 656 - Der Autor spricht hier von Algorithmen, meint aber offensichtlich Lösungsverfahren, also - in der hier verwendeten Begriffsfassung - sowohl Heuristiken wie auch Algorithmen.

Merkmale heuristischer Methoden

Reduktion des Problemlösungsaufwandes

Fehlende Lösungs-garantie

Spezifische Problemorientierung

Unvollständig formulierte Probleme

Lösungsqualität und Ressourcenbedarf sind a priori unbekannt; daher Notwendigkeit einer i.d.R. experimentellen Evaluation an realen oder simulierten Problemstellungen

Heuristiken werden i.d.R. für den konkreten Einzelfall entwickelt; die Ableitung von Konstruktionsregeln ist ebenso wichtig wie der Entwurf spezieller Heuristiken.

- Heuristiken sind im Gegensatz zu Algorithmen auch auf nicht-quantifizierbare Problemstellungen anwendbar.
- Heuristiken sind nicht in jedem Fall exakt (d.h. programmierbar) zu formulieren.

Abb. 20: Überblick über die Merkmale von heuristischen Methoden

4.4. Das Merkmal "Unvollständig formulierte Problemstellung"

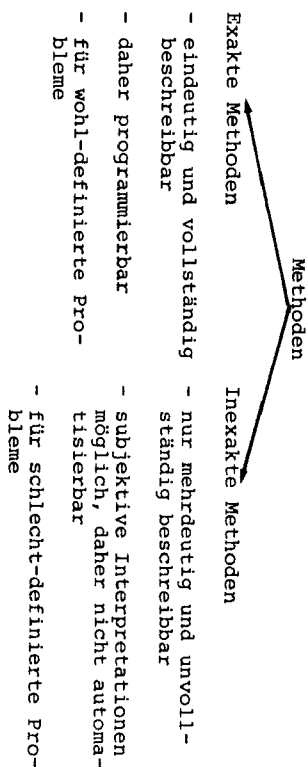
Unvollständig formulierte oder auch schlecht-strukturierte (ill-structured problems) Probleme sind dadurch gekennzeichnet, daß ihnen mindestens eines der Merkmale der wohl-strukturierten Probleme fehlt.¹⁾ Diese Merkmale sind: 2)

- (1) Die Ziele der Aufgabenstellung sind eindeutig definiert.
- (2) Das Problem kann in numerischen Ausdrücken formuliert werden.
- (3) Es existiert ein zulässiger Algorithmus, der mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand eine zulässige, numerisch fassbare Lösung ermittelt.

Allen heuristischen Problemlösungsmethoden ist gemeinsam, daß sie sich mit schlecht-strukturierten Problemen befassen. "Wohl-strukturierte Probleme sind durch algorithmische Programme zu lösen."³⁾
Die unvollständig-formulierten Probleme lassen sich einteilen in: 4)

- 1) Die Unterscheidung geht auf Simon, H.A./Newell, A.; Heuristic Problem Solving; The Next Advance in Operations Research, in: OR Vol. 6 (1958), S. 1-10, hier: S. 4 ff. zurück. Vgl. in der deutschen Literatur Klein, H.-K.; Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 34 ff.
- 2) Vgl. Newell, A.; Heuristic Programming: Ill-structured Problems, in: Aronowsky, J.S. (ed.), Progress in Operations Research, Vol. III: Relationships between Operations Research and the Computer, New York 1969, S. 363-464, hier: S. 365
- 3) Pfohl, H.-Ch.; Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 197
- 4) Vgl. Simon, H.A.; The structure of ill-structured problems, in: Artificial Intelligence Vol. 4 (1973), S. 181-201
Vgl. auch Weiskopf, J.D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 8 ff. Eine andere, weitgehend deckungsgleiche Unterteilung nimmt Witte, Th.; Heuristisches Planen - Vorgehensweisen zur Strukturierung betrieblicher Planungsprobleme, Wiesbaden 1979, S. 76 ff. vor. Er unterscheidet Lösungsdefekte, wirkungsdefekte, bewertungsdefekte und zielsetzungsdefekte Probleme. Vgl. auch Adam, D./Witte, Th.; Merkmale der Planung in gut- und schlecht-strukturierten Planungssituationen, in: WISU, 8. Jg. (1979), S. 380-386 und Witte, Th.; Planungssituationen in lösungsdefekten Problemsituationen, in: WISU, 8. Jg. (1979), S. 437-440 und S. 490-492

- (1) die schlecht-lösbaren Probleme, für die das dritte Merkmal nicht erfüllt ist, bei denen also die Problemlösung einen nicht vertretbaren Aufwand erfordert.
 - (2) die schlecht-repräsentierbaren Probleme, bei denen die relevanten Größen nicht numerisch erfasst werden können und somit Merkmal 2 nicht zutrifft.
 - (3) "Bei schlecht-definierbaren Problemen sind schließlich Identifikation, Abgrenzung und Strukturierung des Problems als Problemstellung das zentrale Anliegen."¹⁾
- Abbildung 21 zeigt, daß für jede dieser Problemklassen auch eigene heuristische Methoden existieren.²⁾
- Grundsätzlich lassen sich exakte und inexakte heuristische Methoden unterscheiden. Kirsch bezeichnet eine Methode als "die Beschreibung einer Folge von Schritten, die einen gegebenen Anfangszustand in einen gewünschten Endzustand transformieren."³⁾ Nur bei schlecht-lösbaren und schlecht-repräsentierbaren Problemen sind Anfangs- und Endzustand eindeutig beschreibbar, so daß eine eindeutige Lösungs- methode formuliert werden kann. "Ist eine solche Schrittfolge eindeutig und vollständig formuliert, so beschreibt sie eine exakte Methode, andernfalls handelt es sich um eine inexakte Methode."⁴⁾ Eine exakte Methode ist automatisierbar und damit als Computerprogramm formulierbar, während die Unbestimmtheit der Einzelschritte und/oder der Schrittfolge bei inexakten Methoden eine Programmierbarkeit nicht zuläßt.⁵⁾
- 1) Meißner, J.-D.: Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 9
 - 2) Die Einteilung lehnt sich an bei Pfohl, H.-Ch.; Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 198. Eine andere Einteilung nimmt Ulrich, W.; Einführung in die heuristischen Methoden des Problemlösens, a.a.O., S. 253 vor.
 - 3) Kirsch, W.; Betriebswirtschaftslehre - Systeme, Entscheidungen, Methoden, Wiesbaden 1974, S.195
 - 4) Ulrich, W.; Einführung in die heuristischen Methoden des Problemlösens, a.a.O., S. 251
 - 5) Vgl. Kirsch, W./Bamberger, I./Sabale, E./Klein, H.K.; Betriebswirtschaftliche Logistik - Systeme, Entscheidungen, Methoden, Wiesbaden 1973, S. 386 ff.



Die mathematischen heuristischen Programme werden auf solche Probleme angewandt, die sich sowohl exakt wie auch numerisch formulieren lassen, sich aber aufgrund der großen Anzahl der Lösungsalternativen mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht mehr mit Algorithmen lösen lassen. Mathematische heuristische Programme sind Verfahren des Operations Research, die sich von Algorithmen nur dadurch unterscheiden, daß ein Teil der potentiellen Lösungen nicht generiert wird.¹⁾ Von einigen Autoren wird diesen Verfahren daher jegliche heuristische Eigenschaft abgesprochen, sie werden vielmehr als "unvollständige Algorithmen" bezeichnet.²⁾ Speziell die osteuropäische Literatur verlangt von heuristischen Methoden schöpferische Eigenschaften,³⁾ das heißt nicht allein eine Verkürzung des Suchprozesses unter gegebenen Elementen des Problems, sondern eine eigenständige Entwicklung von Lösungsalternativen, Problembeschreibung und Lösungsschritten.

- 1) Vgl. für viele Streum, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 147
- 2) Vgl. Ianda, I.N.: Über das Wechselverhältnis von heuristischen und algorithmischen Prozessen, in: Kröber, G./Lorf, M., (Hrsg.): Wissenschaftliches Schöpferium, Berlin 1972, S. 334-347, hier: S. 336 und Pfohl, H.-Ch.; Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 198 f.
- 3) Vgl. dieselben und die Beiträge in Kröber, G./Lorf, M.; Wissenschaftliches Schöpferium, Berlin(Ost) 1972

Solche kreativen Prozesse sind nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung erst in Ansätzen programmierbar. Selbst die zur Zeit wohl am weitesten entwickelten heuristischen Programme mit schöpferischen Eigenschaften, die Schachprogramme, versuchen zur Zeit noch Kreativität durch Rechengeschwindigkeit beim Durchmustern aller möglicher Lösungen zu ersetzen.¹⁾ Die unprogrammierbaren heuristischen Methoden versuchen deshalb das Problemlösungsverhalten des Menschen zu verbessern, in dem sie versuchen, die Kenntnisse und Operationen zu aktualisieren und zu organisieren, "welche die originäre Lösungsfindung begünstigen und insbesondere das kreative Element bei Problemlösungsprozessen verstärken."²⁾ Unterteilen kann man diese "schöpferischen Heuristiken" in Methoden zur Ideenfindung, das heißt zum Aufspüren möglicher Lösungsalternativen und in Methoden zur Organisation und Operationalisierung des Problemlösungsprozesses.³⁾ Während die heuristischen Programme also die Aufgabe haben, ein gegebenes Problem möglichst effizient zu lösen, ist es Aufgabe dieser inexacten Heuristiken, das Problem erst einmal zu formulieren und mögliche Lösungsalternativen zu finden.

- 1) Vgl. O.V.: Computer bald Weltraumsteuerer?, in: DER SPIEGEL, 33. Jg. (1979), 13, S. 209-215, hier: S. 212 ff.
- 2) Schlicksupp, H.: Kreative Ideenfindung in der Unternehmung - Methoden und Modelle, Berlin-New York 1967, S. 17
- 3) Vgl. die detaillierte Einteilung ebendort.

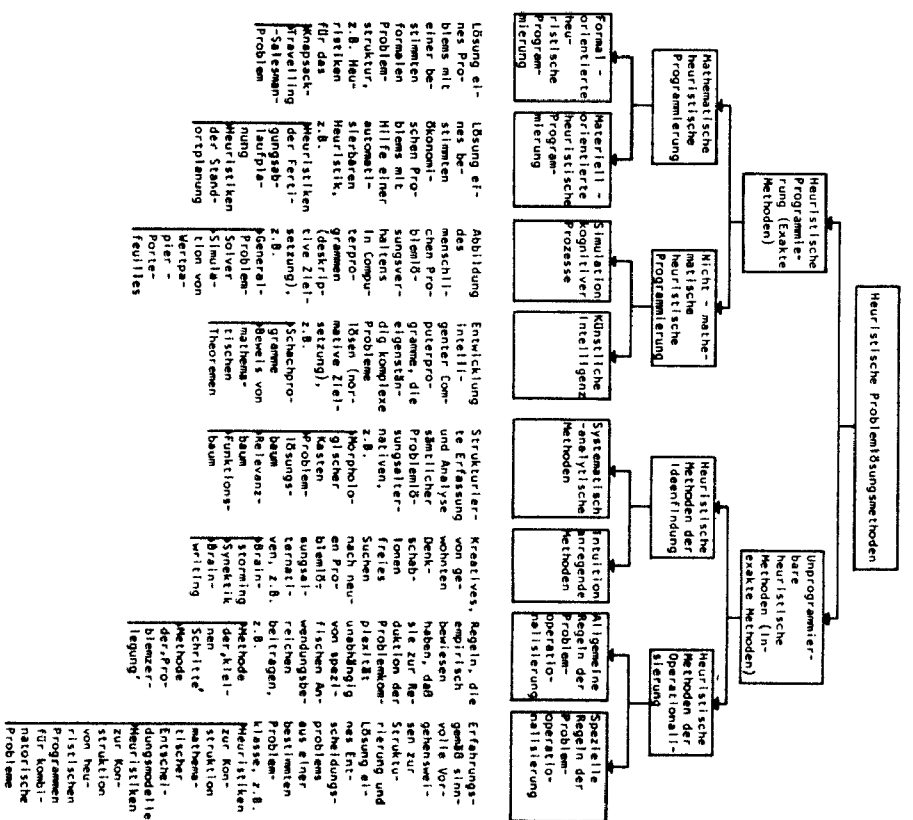


Abb. 21 : Die Arten heuristischer Methoden¹⁾

1) Vgl. Ähnlich auch Froh, H.C.: Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 198

4.2 Planungsmöglichkeiten heuristischer Methoden bei der Konstruktion und Lösung von Entscheidungsmodellen

4.2.1 Die Phasen der Modellentwicklung

Die Verwendung von Modellen im Entscheidungsprozess kann dessen Effizienz erheblich steigern. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß die mit dem Betrieb von Planungssystemen verbundenen direkten und - zum Beispiel durch die Belastung des normalen Geschäftsablaufs¹⁾ - indirekten Aufwendungen die erzielbaren Verbesserungen der Planungsergebnisse nicht überkompensieren. Dies ist nach Ansicht der Praxis jedenfalls für komplexe Investitionsplanungsmodelle der Fall.²⁾

Die Betriebswirtschaftslehre hat nicht nur die Aufgabe, verbesserte Methoden zur Lösung von Investitionsplanungsproblemen zu entwickeln. Will sie ihrer Gestaltungsfunktion gerecht werden, so muß sie auch Wege aufzeigen, wie die Praxis sich die Vorteile dieser Ansätze mit vertretbarem Planungsaufwand zunutze machen kann.

Die Senkung des Planungsaufwandes muß ansetzen bei sämtlichen Phasen der Entwicklung eines Entscheidungsmodells. Eine Reduzierung des Modelllungsaufwandes beispielsweise ist isoliert nutzlos, solange die Praxis speziell den Modellentwurf als besonders schwierig und aufwendig empfindet.³⁾

- 1) Vgl. Esser, W.M./Kirsch, W.: Die Einführung von Planungs- und Informationssystemen - Ein empirischer Vergleich, München 1979, S. 126
- 2) Für alle modernen Planungsmethoden gilt dies vor allem für kleinere und mittlere Unternehmen, in denen sich diese Techniken noch kaum durchgesetzt haben. Vgl. Brockhoff, K.: Planung in mittelgroßen Industrieunternehmen, a.a.O. Vgl. auch Heinhöhl, M./Nitsche, C./Papadopoulos, G.: Empirische Untersuchung von Schwerpunkt-OR-Praxis in 525 Industriebetrieben der BRD, a.a.O., S. 189 ff
- 3) Vgl. Müller-Merbach, H.: Entwurf von Input-Output-Modellen, a.a.O., S. 521

Grob sollen folgende Phasen des Modellentwurfs unterschieden werden:

1. die Phase der Problemdefinition
2. die Phase der Modellkonstruktion
3. die Phase der Datenbeschaffung
4. die Phase der Modelllösung und Ergebnisinterpretation.

Abbildung 22 gibt einen Überblick über die bei der Modellentwicklung zu durchlaufenden Schritte. Diese Abbildung basiert auf Überlegungen, die u.a. von Angermann,¹⁾ Rivett,²⁾ Hansmann,³⁾ Meyer/Steinmann,⁴⁾ Laager,⁵⁾ Müller-Merbach⁶⁾ und Schlicksupp⁷⁾ angestellt worden sind.

In der ersten, der eigentlichen Modellkonstruktion vorgelagerten Phase wird das Problem definiert, das heißt es sind die Zielkriterien zu formulieren, die Handlungsmöglichkeiten

- 1) Vgl. Angermann, A.: Industrielle Planungsrechnung, Band 1: Entscheidungsmodelle, Frankfurt/Main 1963, S. 13 ff
- 2) Vgl. Rivett, P.: Entscheidungsmodelle in Wirtschaft und Verwaltung, Frankfurt-New York 1974
- 3) Vgl. Hansmann, F.: Operations Research Techniques for Capital Investments, a.a.O., S. 3 ff und derselbe: Einführung in die Systemforschung - Methodik der modellgestützten Entscheidungsvorbereitung, München 1978
- 4) Vgl. Meyer, M./Steinmann, H.: Planungsmodelle für die Grundstoffindustrie - Betriebswirtschaftliche Anwendungen der Linearen Programmierung in Gewinnungsbetrieben, Würzburg-Wien 1971, S. 22 ff
- 5) Vgl. Laager, F.: Die Bildung problemangepasster Entscheidungsmodelle, Zürich 1974
- 6) Vgl. Müller-Merbach, H.: Quantitative Entscheidungsvorbereitung - Erwartungen, Ertragschancen, Chancen; in: DW 37. Jg. (1977), S. 11-23, hier S. 17 ff und derselbe: Entwurf von Input-Output-Modellen, in: Proceedings in Operations Research 7, Würzburg-Wien 1978, S. 521-532
- 7) Vgl. Schlicksupp, H.: Kreative Ideenfindung in der Unternehmung - Methoden und Modelle; Berlin-New York 1977, S. 33 ff

zu erfassen, die Randbedingungen zu analysieren und so weiter. 1) Häufig sind dabei folgende Probleme zu überwinden: 2)

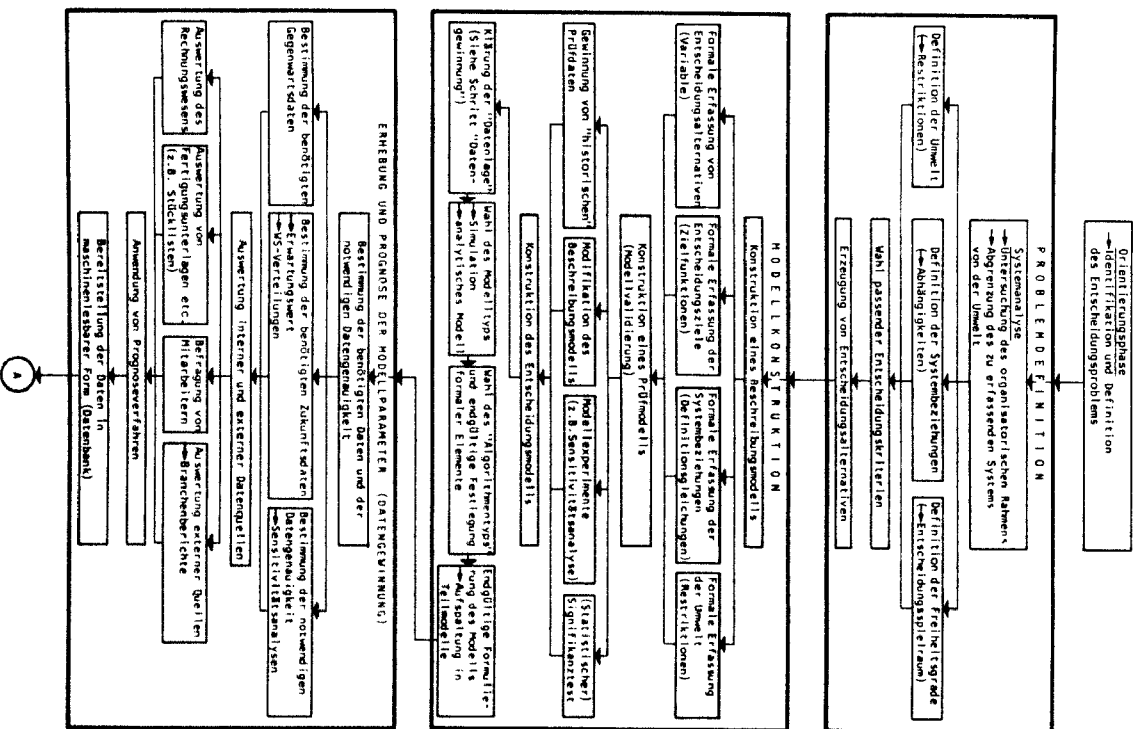
- Das Zielsystem ist unbestimmt und vage;
- Die Problemursachen werden falsch eingeschätzt und infolgedessen der Problembereich falsch abgegrenzt;
- Die bisherige, vom Entscheidungssträger verinnerlichte Auffassung des Problems erschwert eine operationale Problemdefinition in gegebenenfalls unorthodoxen Kategorien;
- Wichtige Handlungsmöglichkeiten werden ausgeschlossen oder mangels Kreativität nicht erzeugt; 3)
- Die Randbedingungen werden überschätzt oder auch unterschätzt.

Der Definitionsphase folgt die Abbildung des Problems in einem Modell (Konstruktionsphase). Dazu sind eine Reihe von Vorentscheidungen notwendig. 4) Diese betreffen die formale und die materielle Struktur des zu konstruierenden Modells.

Mit der Wahl einer formalen Struktur, also der Festlegung des Modelltyps, wird auch eine Vorentscheidung über die Klasse der anzuwendenden Lösungsverfahren getroffen.

Wie oben erläutert, lassen sich wohl-strukturierte Probleme in geschlossenen Entscheidungsmodellen abbilden, die im Grundsatz sowohl durch mathematisch-analytische wie auch durch heuristische Verfahren lösbar sind. Schlecht-strukturierte Probleme sind hingegen nur in offenen Entscheidungsmodellen

- 1) Vgl. dazu Schlicksupp, H.; Kreative Ideenfindung in der Unternehmens-, a.a.O., S. 33 ff und Hansmann, F.; Einführung in die Systemforschung, a.a.O., S. 29 ff
- 2) Vgl. ebendort
- 3) Vgl. auch Ackoff, R.L./Sasieni, M.W.; Operations Research - Grundzüge der Operationsforschung, Stuttgart 1970, S. 93 ff
- 4) Zu dem Begriff vgl. Galvanides, M.; Planungsmethodologie - Vorentscheidungen bei der Formulierung integrierter Investitionsplanungsmodelle, Berlin 1979, S. 15 ff



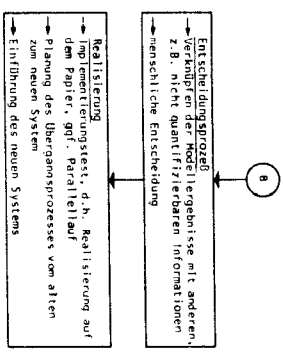
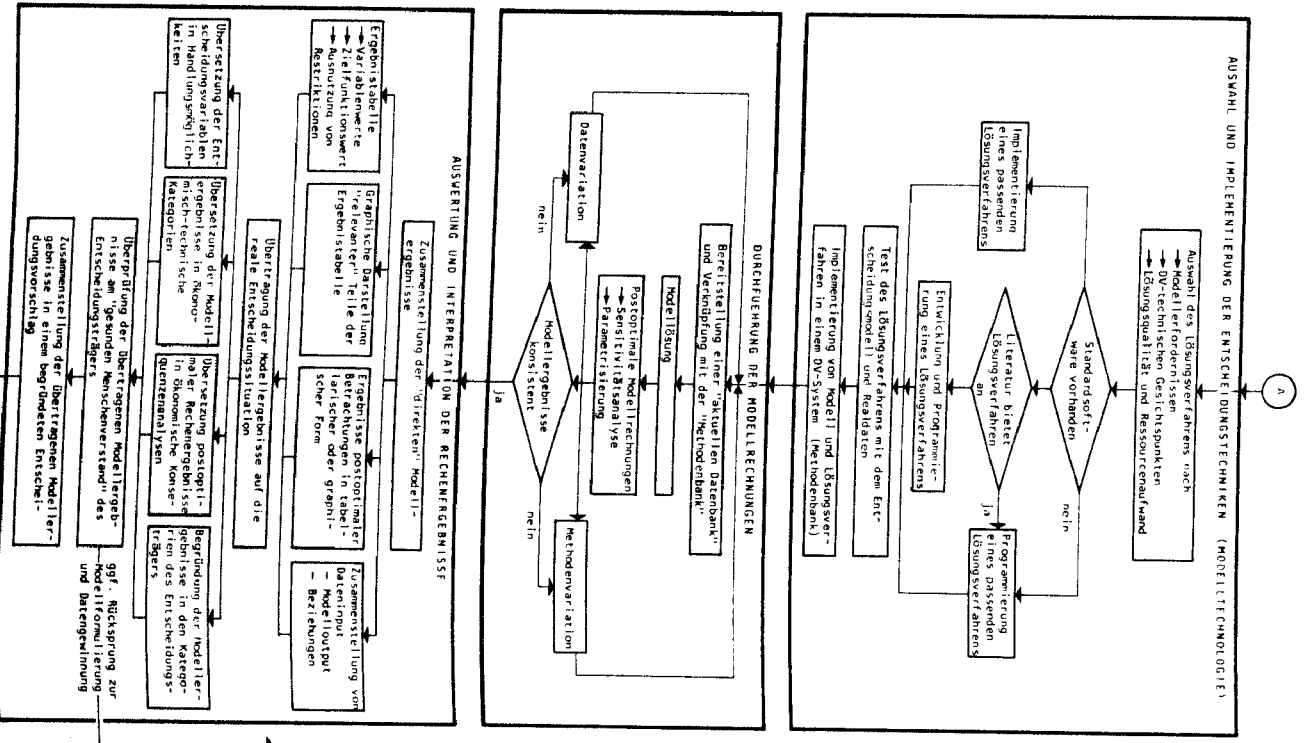


Abb. 22: Ablauf des Planungs- und Entscheidungsprozesses bei Verwendung von Entscheidungsmodellen

erfahbar und mit heuristischen Methoden zu lösen. ¹⁾²⁾ Allerdings hängt es nicht allein von den Eigenschaften des Problems, sondern ebenso von den Fähigkeiten des menschlichen Problemlösers ab, ob es sich in einem geschlossenen Entscheidungsmodell erfassen läßt. Kein Problem ist von vornherein wohl-strukturiert, sondern es wird erst durch die Kenntnisse und Interpretationsmuster des jeweiligen Entscheidungsträgers. ³⁾

Die folgenden Ausführungen beziehen sich allein auf wohl-strukturierte Problemstellungen und geschlossene Entscheidungsmodelle. Innerhalb der wohl-strukturierten Probleme sind wiederum unterschiedliche Schwierigkeitsgrade bei der Lösungsermittlung zu unterscheiden. Am einfachsten sind tendenziell solche Probleme zu lösen, die sich in algebraisch lösbaren Gleichungssystemen erfassen lassen. Aufwendiger ist die Lösung von linearen oder gar gemischt-ganzzahligen Optimierungsmodellen. Davon zu unterscheiden sind Probleme, die sich zwar ebenfalls als Optimierungsmodell formulieren lassen, sich jedoch nur mit heuristischen Verfahren suboptimal lösen lassen. Schließlich existieren noch Probleme, die zu kompliziert sind, "um sie als geschlossenes lösbares Formalproblem darstellen zu können." ⁴⁾ In solchen Fällen for-

- 1) Zu dem Begriffspaar wohlstrukturierte-schlechtstrukturierte Problemstellung vgl. Heinen, E.; Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre, a.a.O., S. 59 ff und derselbe; Zur Problembegrenztheit von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 3. Vgl. auch Schlicksupp, H.; Kretz, J.D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 51 ff und Weisser, J.; Heuristische Programmierung, S. 5 ff. Vgl. dort auch die Einbeziehung in geschlossene und offene Entscheidungsmodelle.
- 2) In Anlehnung an Weisser und im Unterschied zu Heinen und Schlicksupp sei ein Problem auch dann als wohl-strukturiert bezeichnet, wenn keine zulässigen Lösungsalgorithmen, sondern nur mathematisch-heuristische Programme anwendbar sind. Ein solches Problem sei als wohl-strukturiert, jedoch schlecht-lösbar bezeichnet.
- 3) Vgl. Bretzke, W.-R.; Die Formulierung von Entscheidungsproblemen als Entscheidungsproblem, in: DMW 38. Jg. (1978), S. 135-143, hier S. 138f
- 4) Miller-Werbach, H.; Operations Research, a.a.O., S. 451

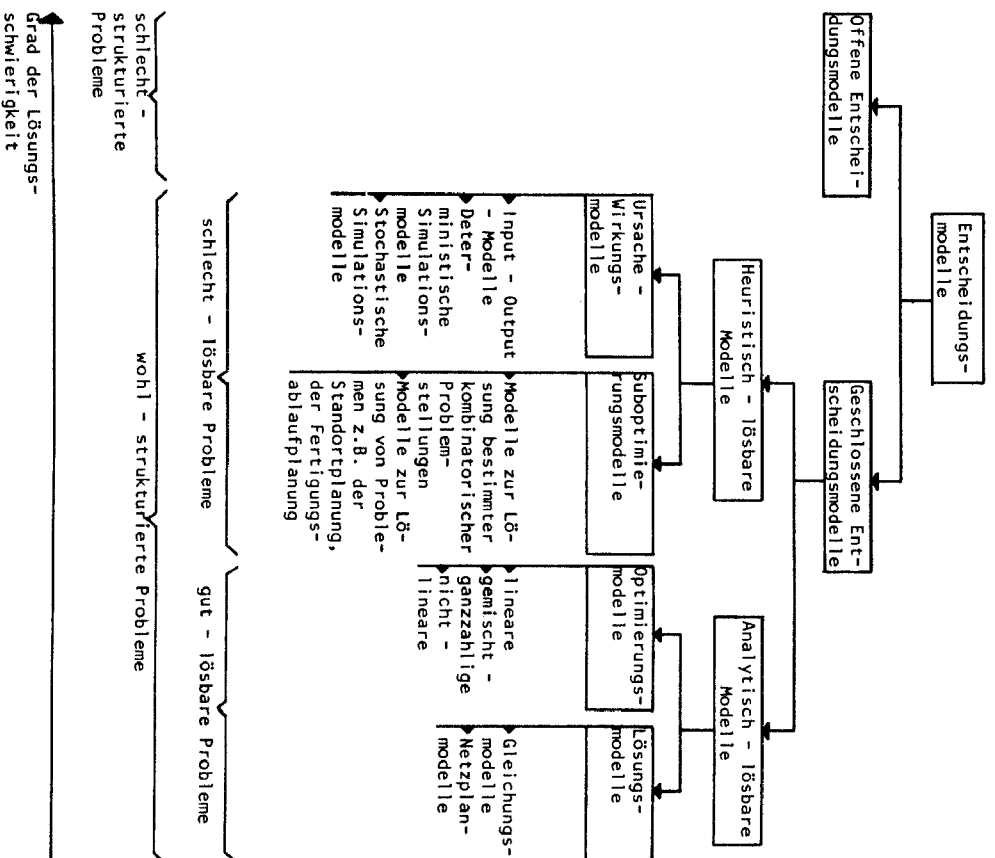


Abb. 23 : Klassifizierung von Entscheidungsmodellen nach dem Grad der Lösungsschwierigkeit

muliert man sogenannte "What-if-Modelle", die oft auch als Simulationsmodelle bezeichnet werden, mit deren Hilfe man das Verhalten des abgebildeten Systems experimentell nachvollziehen kann. "Wenn man nicht mehr weiter kann, fängt man zu simulieren an."¹⁾

Mit der Festlegung des Modelltyps und der formalen Struktur sind Entscheidungen darüber zu treffen, welche Elemente der Problemdefinition im Modell abzubilden sind. "Jedes Modell ist eine vereinfachende Abbildung der Wirklichkeit."²⁾ Der Grad der Vereinfachung bei der Festlegung der materiellen Modellstruktur ergibt sich

- aus den formalen Erfordernissen des gewählten Modelltyps;
- aus dem Ziel und Verwendungszweck des Modells;
- aus technischen Randbedingungen (Computerkapazitäten, verfügbare Software) und ökonomischen Überlegungen bezüglich des Planungsaufwands.

"Equally, we must be careful to include all the significant features of reality in the model."³⁾ Der Grad der zulässigen Vereinfachung ergibt sich dabei aus einer Abwägung des Planungsaufwandes gegen die Güte der aus dem Modell abgeleiteten Handlungsempfehlungen. Bei der Operationalisierung dieser Größen ergeben sich allerdings zur Zeit kaum lösbare Probleme.

An die Phase der Modellkonstruktion schließt sich die Schätzung und Prognose der Modellparameter an (Datengewinnung).

- 1) Stahlnecht, P.; Operations Research, Bd. 2: Simulationsmethoden/ Ablauf- und Terminplanung, 2. Aufl., Braunschweig 1970, S. 1 - Zitiert nach Miller-Werbach, H.; Operations-Research, a.a.O., S. 451
- 2) Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 27. Ähnlich auch Miller-Werbach, H.; Operations Research, a.a.O., S. 14 f und Hansmann, F.; Einführung in die Systemforschung, a.a.O., S. 74
- 3) Raibe, P.S./Flavell, R.B./Salkin, G.; Determining appropriate levels of data aggregation in a linear programming model, in: EJOR Vol. 2 (1978), S. 26-31, hier S. 27

"Bereits vorhandene Daten müssen erfasst werden, zusätzliche Neuerhebungen können erforderlich sein."¹⁾ Man kann diese Phase unterteilen in die Erhebung und Aufbereitung historischer Daten, die allein ein organisatorisches Problem darstellt, und in die Schätzung und Prognose von auf zukünftige Planungsperioden bezogenen Modellparametern. Hierzu sind objektive und subjektive Prognoseverfahren heranzuziehen.²⁾

Die Lösung komplexer Planungsmodelle erfordert eine umfangreiche Modelltechnologie. Diese umfaßt³⁾

- (1) die zur Ermittlung von Modellergebnissen angewendeten Lösungsmethoden wie etwa Algorithmen, Heuristiken oder auch Kreativitätstechniken;
- (2) die zur Informationsverarbeitung eingesetzten Lösungsinstrumente, hier vor allem die Datenverarbeitungslage.

Methoden und Instrumente sind unter Beachtung der Modell- und Datenstruktur auszuwählen und im Informations- und Planungssystem der Unternehmung zu implementieren.

Bei der Implementierung von Entscheidungstechniken ist generell davon auszugehen, daß es "zu einer höheren Effizienz von Entscheidungsprozessen nur infolge einer gesteigerten Informationsnachfrage und nicht schon allein infolge des gesteigerten Informationsangebots durch ein neu installiertes Informationssystem kommt."⁴⁾ Diesem Gesichtspunkt ist

- 1) Hansmann, F.; Einführung in die Systemforschung, a.a.O., S. 87
- 2) Einen Überblick über diese Verfahren geben Mertens, P.; Prognoserechnung, Würzburg-Wien 1973 und Schütz, W.; Methoden der mittel- und langfristigen Prognose - Eine Einführung, München 1975
- 3) Vgl. eine ähnliche Unterteilung bei Pföhl, H.-Ch.; Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 47
- 4) Derselbe; Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, in: Die Unternehmung, Jg. (1976), S. 73-94, hier S. 83

sowohl bei der eigentlichen Modelllösung wie auch bei der Auswertung und Vermittlung der Ergebnisse Rechnung zu tragen. Die technische Modellimplementierung ist also unbedingt durch organisatorische und psychologische Maßnahmen zu ergänzen, die Widerstände abbauen und Motivationen für einen erfolgreichen Einsatz des Modells schaffen sollen.¹⁾

Die abschließenden Phasen der Entscheidungsdurchführung und der Realisierung der gewählten Handlungsalternative liegen außerhalb der eigentlichen Modellentwicklung und sollen daher vernachlässigt werden. Beide Phasen können jedoch starken Einfluß auf die Gestalt des zu konzipierenden Modells haben. Haben Modelle allein entscheidungsvorbereitenden Charakter (gilt für die bisherigen Investitionsplanungsmodelle), so ist ihr Aufbau an den Ablauf des menschlichen Entscheidungsprozesses und dessen Informationsbedarf anzupassen. Begleitet die Modellanwendung die Realisierungsphase, was etwa bei Netzplanmodellen der Fall ist, so muß der Modelllaufbau die technisch-organisatorischen Gegebenheiten dieser Phase berücksichtigen.

4.2.2 Freiheitsgrade der Modellentwicklung

Bei der Entwicklung eines Entscheidungsmodells verfügt der Modellkonstrukteur über eine Anzahl von Handlungsalternativen, aus denen nach bestimmten Zielkriterien auszuwählen ist.²⁾ Diese Handlungsalternativen der formalen, materiellen und technologischen Modellstruktur lassen sich nach folgenden Freiheitsgraden systematisieren:

- 1) Vgl. dazu etwa Ouse, D./Steincke, V./Walter, K.D.: Implementierungsprobleme bei der Anwendung der Linearen Planungsrechnung, in: Pfaff, H./Chr./Kittrop, B. (Hrsg.): Anwendungsprobleme moderner Planungs- und Entscheidungstechniken, Königstein/Ts. 1979, S. 141-158
- 2) Zu den Kriterien bei der Modellentwicklung vgl. Abschnitt 5.2.4

1. der Isomorphiegrad des Entscheidungsmodells

Aus einer gegebenen "objektiven" Problemstruktur lassen sich mehrere Realstrukturen ein- und desselben Problems ableiten.¹⁾ Der Grund dafür liegt in den unterschiedlichen Probleminterpretationen durch die jeweiligen Entscheidungssträger. So wird ein technisch vorgebildeter Investor ein bestimmtes Investitionsproblem anders interpretieren, ihm also eine andere Realstruktur geben, als ein kaufmännisch vorgebildeter Manager.

Bei der Abbildung dieser subjektiven Realstruktur in der Formalstruktur eines Entscheidungsmodells sind in aller Regel Vereinfachungen notwendig, weil

- a. die reale Problemstellung für die Abbildung und Lösung mit Hilfe mathematischer Instrumente zu komplex ist;
- b. eine vollkommen isomorphe Abbildung - wenn möglich - zu einem Entscheidungsmodell führen würde, das mit vertretbarem Aufwand nicht mehr lösbar wäre.²⁾

Der Umfang dieser Vereinfachungen wird somit zum einen durch technische Erfordernisse bestimmt, zum anderen aber auch durch ökonomische Einflußfaktoren.

Ausgegangen wird dabei von der Überlegung, daß ein Modell, das - mehr Handlungsmöglichkeiten abbildet, also mehr Variablen enthält,

- mehr Systembeziehungen definiert und Umweltbedingungen erfäßt, also mehr Nebenbedingungen beachtet,
 - mehrere Zielfunktionen maximiert, um ein komplexes Zielsystem des Entscheidungsträgers abzubilden,
- mehr Planungsaufwand verursacht als ein weniger umfangreiches Modell.

- 1) Vgl. Zentes, J.: Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, Diss. Saarbrücken 1975, S. 32
- 2) Vgl. Reichmann, H.: Die optimale Komplexion des Entscheidungskalküls, in: ZfB 24. Jg. (1972), S. 519-539, hier S. 522 ff

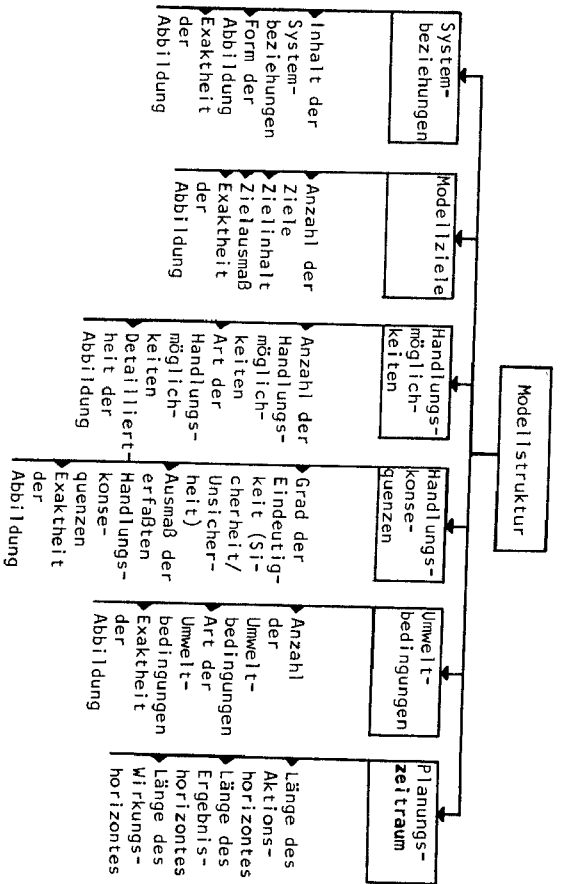


Abb. 24 : Die Freiheitsgrade der Modellstruktur

Diese einschichtige Überlegung wird von der Realität zumindestens bezüglich des Rechenaufwandes gestützt. Der Rechenaufwand steigt bei den verfügbaren exakten Lösungsverfahren für Investitionsprogrammplanungsprobleme nicht nur proportional, sondern überproportional zur Problemgröße.¹⁾

2. die Genauigkeit der Modellparameter

In engem Zusammenhang mit der Komplexität des Entscheidungsmodells steht die Frage der Genauigkeit der vom Modell verarbeiteten Informationen.

Der Datengewinnaufwand wird bestimmt durch die erforderliche Datenquantität und die Datenqualität.

Die Datenquantität wird weitgehend durch die Struktur des Entscheidungsmodells bestimmt. Bei seiner Konstruktion wird festgelegt, welche Daten über betriebliche und Umweltgegebenheiten zu erheben sind. Sind diese Daten nicht beschaffbar, so ist die Struktur des Modells entsprechend zu modifizieren. Fehlen z.B. Informationen über die in drei Jahren realisierbaren Investitionen, so ist ein Entscheidungsmodell mit einem Aktionshorizont von drei Jahren nicht praktikabel.

Eine Änderung des Modells aus Gründen der Datenquantität kann wiederum nicht allein aus technischen Gründen, sondern auch zur Senkung des Datengewinnaufwandes geboten sein.

Für den Nutzen eines Entscheidungsmodells ist die Qualität der verarbeiteten Informationen von sehr großer Bedeutung. Die Datenqualität läßt sich einteilen in:²⁾

1) Vgl. Abschnitt 2.3.2, besonders Tabelle

2) Vgl. Zentes, J.: Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 35 ff. - Zentes unterscheidet zusätzlich noch einen Zuverlässigkeitsgrad.

1. den (unterstellten) Vollkommenheitsgrad der Informationen,
2. den Präzisionsgrad.

Die erste Kategorie definiert den vom Entscheidungsträger unterstellten Informationsstand über die in das Modell eingehenden Größen. Der Fall vollkommener Informationen dürfte in der Realität nur selten anzutreffen sein. "Dennoch kommt der Sicherheitssituation für die Formulierung von Entscheidungsmodellen in der Praxis eine relativ große Bedeutung zu. Die Ursache hierfür dürfte in der in der Praxis oft gegebenen Notwendigkeit zu stark vereinfachter Modellbildung zu suchen sein."¹⁾ Der Fall unvollkommener Informationen wird in der betriebswirtschaftlichen Entscheidungstheorie unterteilt in Situationen, bei der der Investor

- Wahrscheinlichkeitsverteilungen über die unsicheren Daten angeben kann (Risikosituation),
- "gewisse qualitative Vorstellungen über die Wahrscheinlichkeiten der möglichen Realisationen der ungewissen Daten"²⁾ hat (Fall der qualitativen Information),
- Keinerlei Wahrscheinlichkeitsvorstellungen über die ungewissen Daten hat (Ungewißheitssituation).

Der Vollkommenheitsgrad der zur Verfügung stehenden Informationen greift in die Struktur des Entscheidungsmodells ein. Modelle für Entscheidungssituationen mit sicheren Informationen unterscheiden sich insbesondere in der Formulierung der Zielfunktionen und der Restriktionen erheblich von Modellen, die unvollkommene Informationen verarbeiten sollen.

Unabhängig von der Struktur des Entscheidungsmodells ist hingegen die Präzision, mit der die benötigten Informationen

- 1) Bamberg, G./Coenenberg, A.C.; Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, a.a.O., S. 37
- 2) Böhler, W.; Investitions- und Finanzplanung bei qualitativer Information, Unveröffentlichte Habilitationsschrift TH Aachen 1976, S. 2 - eine Reihe von Investitionsprogrammierungsproblemen.

ermittelt und dann im Modell abgebildet werden.¹⁾ "Der Präzisionsgrad bezieht sich ... auf die Exaktheit und den Toleranzbereich der berücksichtigten Informationen. Dies gilt sowohl bei vollkommenem als auch bei unvollkommenen Informationsgrad."²⁾

Die Präzision der Daten ist insbesondere abhängig von den verwendeten statistischen, technischen, kostenrechnerischen Verfahren. So wird etwa die Genauigkeit prognostizierter Daten beeinflusst von dem eingesetzten Prognoseverfahren, der Prognosebasis und dem Prognosezeitraum.

Es ist einleuchtend, daß zwischen dem Präzisionsgrad und dem Vollkommenheitsgrad Interdependenzen bestehen. So kann es etwa möglich sein, durch intensive Datengewinnung den Informationsstand eines Investors so zu heben, daß er in die Lage versetzt wird, durch Angabe von Wahrscheinlichkeitsverteilungen eine Ungewißheitssituation in eine Risikosituation zu überführen.

3. die Modelltechnologie

Dritter Freiheitsgrad bei der Modellentwicklung ist die Wahl der Modelltechnologie. Diese umfaßt vor allem:

- a. die Wahl des Lösungsverfahrens
- b. die Wahl des Datenverarbeitungssystems
- c. die Wahl der Ergebnisaufbereitung.

In den meisten Fällen wird durch die Modellstruktur zumindestens die Klasse der in Frage kommenden Lösungsverfahren festgelegt. Bei den hier betrachteten Investitionsprogramm-

- 1) Vgl. Bloech, J.; Untersuchung der Aussagefähigkeit mathematisch formaler Investitionsmodelle mit Hilfe einer Fehlerrechnung, Diss. Göttingen 1966, 2. Kapitel
- 2) Zentes, J.; Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 55

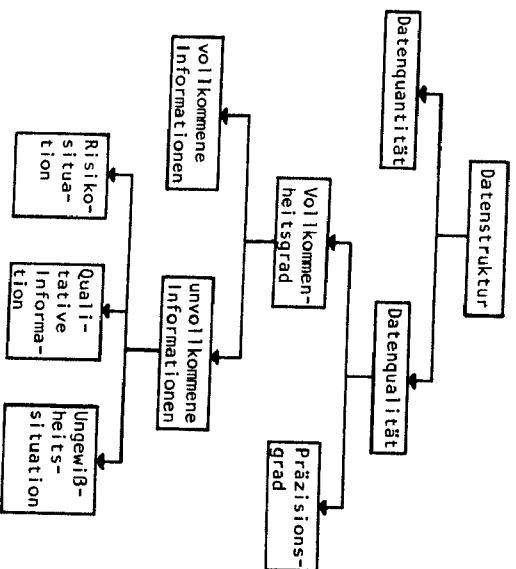


Abb. 25 : Die Freiheitsgrade der Datenstruktur

Planungsmodellen stehen allein Lösungsverfahren für gemischt-ganzzahlige Optimierungsprobleme zur Wahl.

Der Anwender kann hier grundsätzlich zwischen Optimierungs- und Suboptimierungsverfahren sowie - innerhalb der beiden Klassen - zwischen verschiedenen Typen wählen. ¹⁾ Er wird sich dabei nach der Effizienz der Verfahren richten, die gegeben ist durch das jeweilige Verhältnis von Planungsaufwand und Lösungsgröße. Diese sogenannte "Kraft einer Lösungsmethode" ²⁾ hat nach Newell drei Dimensionen: ³⁾ (1) die Wahrscheinlich-

1) Vgl. Abschnitt 2.3

2) Von Freese 'Wächtigkeit', von Klein 'heuristische Kraft' genannt. Vgl. Freese, E.; Heuristische Entscheidungsstrategien der Unternehmensführung, in: ZfP 23, Jg. (1971), S. 283-307, hier S. 285 und Klein, H.-K.; Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 40 ff

3) Vgl. Newell, A.; Heuristic Programming: Ill-structured Problems, in: Aronofsky, J. (ed.), Progress in Operations Research - Relationship between Operations Research and the Computer, New York etc. 1969, S. 363-411, hier S. 371 ff

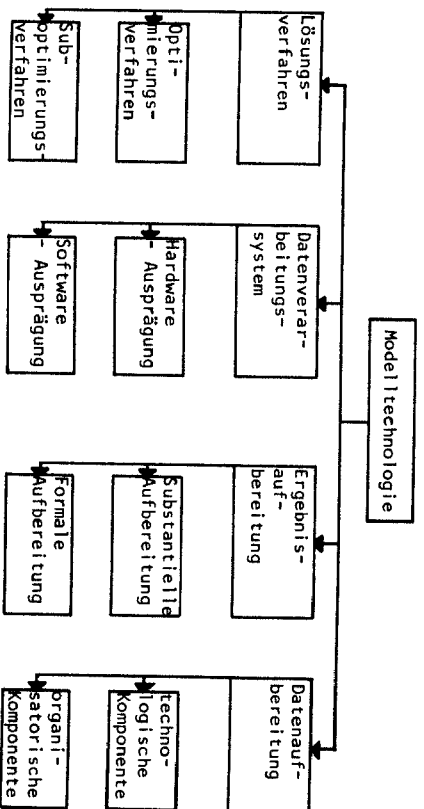


Abb. 26 : Die Freiheitsgrade der Modelltechnologie

keit, daß eine Methode ein bestimmtes Problem überhaupt lösen kann (Lösungswahrscheinlichkeit); (2) die Höhe des dabei erreichten Zielfunktionswertes (Lösungsqualität) und (3) den zur Lösung verbrauchten Ressourcenverrat (Lösungsaufwand). ¹⁾ Algorithmische Verfahren erreichen ex definitione immer die höchste Lösungsqualität, sofern der Ressourcenverrat eine Lösung zuläßt. Ist dieser jedoch begrenzt, so kann die Lösungswahrscheinlichkeit und die Lösungsqualität heuristischer Methoden über der von Algorithmen liegen.

Komplexe Entscheidungsmodelle sind ohne Unterstützung von Rechenautomaten kaum lösbar. ²⁾ Bei der Auswahl des konkreten Datenverarbeitungssystems muß der Entscheidungsträger über

1) Vgl. dazu Abschnitt 6.3.4

2) Für ein recht komplexes Produktionsplanungsmodell wird allerdings von einer, in kontinuierlichen Abständen wiederholten manuellen Lösung berichtet. Vgl. Meyer, M./Stelmann, H.; Planungsmodelle für die Grundstoffindustrie, a.a.O., S. 87-97

die zu verwendende Maschine ('hardware') wie auch das zu verwendende Rechenprogramm ('software') entscheiden. Im ersten Punkt reicht das Entscheidungsfeld vom programmierbaren Taschenrechner - auf denen nicht-exakte Verfahren oftmals eine zufriedenstellende Lösung ermitteln können - bis hin zu Großcomputern, die in der Regel Voraussetzung für die Anwendung von exakten Lösungsverfahren sind.

Die benötigte 'software' kann bei exakten Verfahren von mehreren Herstellern bezogen werden, kaum aber selbst hergestellt werden,¹⁾ während bei nicht-exakten Verfahren zur Zeit nur die Eigenerstellung möglich ist.

"Die Lösungsaufbereitung kann in eine formale Aufbereitung und in eine substantielle Aufbereitung unterschieden werden."²⁾ Die Lösungen eines Entscheidungsmodells können formal zum Beispiel in standardisierten Listen ausgegeben werden oder aber durch einen 'Reportgenerator' in eine speziell den Bedürfnissen des Entscheidungsträgers angepassten Form aufbereitet werden.³⁾ Die substantielle Aufbereitung umfaßt Gesichtspunkte wie: (1) Kann der Entscheidungsträger z.B. in Form eines Mensch-Maschine-Kommunikationssystems weitere Informationen über die empfohlenen Handlungsmöglichkeiten und über analoge vergangene Entscheidungssituationen heranziehen? (2) Kann die Entscheidungssituation durch postoptimale Rechnungen und Variation von Modellelementen und -parametern vertiefend analysiert werden, ohne daß eine neue Lösung des ge-

- 1) Vgl. Stahlrecht, P.; Strategien zur Implementierung von OR-gestützten Planungsmodellen in der Praxis, In: *DBW* 38. Jg. (1978), S. 39-50,
- 2) Zentes, J.; Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 67
- 3) Schmitz, P.; Voraussetzungen für die Gestaltung computergestützter Entscheidungssysteme, In: *EDV* 11 (1970), S. 401-405, hier S. 401 ff

samten Entscheidungsmodells erforderlich ist? (3) Gibt die Lösung Hinweise, welche Modellgegebenheiten für die erreichte Lösung besonders bestimmend waren?

Komfortable Auswertungssysteme erfordern einen höheren ökonomischen Aufwand, steigern aber auch die Nützlichkeit eines Entscheidungsmodells, da die Problemlösung einsichtiger und besser vermittelt wird und damit tendenziell auch die Anwendungshäufigkeit des Planungssystems zunehmen wird.¹⁾

4.2.3 Einsatzmöglichkeiten heuristischer Methoden

Der Modellentwicklungsprozeß umfaßt im weitesten Sinne schöpferische und nicht-schöpferische Operationen. Nicht-schöpferische Operationen sind durch entsprechende Vorschriften eindeutig bestimmt und somit intersubjektiv "automatisch" durchzuführen. Sie führen bei gleichen Ausgangssituationen zu gleichen Ergebnissen. Solche Operationen sind programmierbar und daher in heuristischen Programmen abbildbar. Davon zu trennen sind die zur Entwicklung eines Modells notwendigen Operationen, die sich nicht programmieren lassen, weil weder alle möglichen Problemlösungsschritte noch deren Abfolge und die dabei anzuwendenden Mittel und Wege eindeutig determiniert sind. Ein solcher Prozeß, bei dem die Lösung nicht durch eindeutige Vorschriften direkt bestimmt ist, sei in Anlehnung an Landa als schöpferisch bezeichnet.²⁾ Hier sind nur solche Heuristiken anwendbar, "die die Denkfähigkeit unvollständig determinieren und im Hinblick auf das Durchführen einer Anweisung eine gewisse Unbestimmtheit enthalten."³⁾ Diese seien als schöpferische oder kreative Heuristiken bezeichnet.

- 1) Vgl. Hayes, R.H.; Qualitative Insight from Quantitative Methods, In: *HBR* Vol. 47 (1979), S. 106-117
- 2) Vgl. Landa, I.N.; Über das Wechselverhältnis von heuristischen und algorithmischen Prozessen, In: Kröber, G./Lorff, M. (Hrsg.); *Wissenschaftliches Schöpferium*, Berlin (Ost) 1972, S. 334-347
Landa unterscheidet zwischen schöpferischen, selbständigen und algorithmischen Prozessen.
- 3) Bendoric, S. 344 - Solche Heuristiken werden von Landa als "echte" Heuristiken bezeichnet.

ristiken bezeichnet. Ihre Aufgabe besteht in "der Aktualisierung und Organisierung jener Kenntnisse und Operationen, die helfen können, eine Lösung zu finden..."¹⁾

Polgt man dieser Unterteilung, so kann man die Phasen der Problemdefinition und Modellformulierung eher zu den schöpferischen Aufgaben, die Ableitung der Modelllösung hingegen zu den nicht-schöpferischen Operationen zählen.

Bei der Strukturierung und Definition der Problemstellung können dabei vor allem die sogenannten "heuristischen Methoden der Ideenfindung" oder auch "Kreativitätstechniken" angewendet werden.²⁾ Diese Methoden bestehen aus heuristischen Prinzipien, die sich bei der Lösung gewisser schlecht-strukturierter Entscheidungssituationen als außerordentlich brauchbar erwiesen haben.³⁾ Diese Methoden lassen sich einteilen in: 4) - systematisch analytische Methoden
- die Intuition anregende Methoden (vgl. Abbildung 21).

Es existieren etwa 40 solcher Methoden, die allerdings vielfach nur Modifikationen bestimmter Grundsätze sind.⁵⁾ Mit Hilfe der systematisch-analytischen Methoden ist man in der Lage, problemrelevante Merkmale zu erkennen, Lösungsmöglichkeiten

- 1) Vgl. Landa, I.N.: Über das Wechselverhältnis von heuristischen und algorithmischen Prozessen, a.a.O., S. 344
- 2) Vgl. Pfohl, H.-Ch.: Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 136 ff
- 3) Vgl. Schlicksupp, H.: Kreative Ideenfindung in der Unternehmung, a.a.O., S. 17
- 4) Vgl. ebendort
- 5) Vgl. Geschka, H.: Implementierungsprobleme bei der Anwendung von Ideenfindungsmethoden in der Praxis der Unternehmen, in: Pfohl, H.-Ch./Kämpf, R. (Hrsg.): Anwendungsprobleme moderner Planungs- und Entscheidungstechniken, a.a.O., S. 159-171, hier S. 159

keiten aufzuzeigen und das Problem zu strukturieren. Ein Beispiel für diesen Methodentyp ist der morphologische Kasten, der eben zu diesen Zwecken mehrfach in der vorliegenden Arbeit verwendet wird. Demgegenüber eignen sich die Methoden zur Intuitionsanregung vor allem zur Aufdeckung von Problemsursachen und damit auch von Problemsichtweisen sowie zum Finden von Handlungsmöglichkeiten.¹⁾ Grundformen dieses Verfahrenstyps sind das Brainstorming, das Brainwriting und die Methoden der schöpferischen Orientierung.²⁾ In der vorliegenden Arbeit werden diese heuristischen Methoden nicht weiter behandelt, da es sich um allgemein anwendbare Vorgehensweisen handelt, deren Verwendung in der Modellentwicklung keine spezifischen Probleme aufwirft.

Bei der Problemdefinition, noch stärker aber bei der Modellkonstruktion können neben diesen sehr allgemeinen schöpferischen Heuristiken auch heuristische Regeln angewendet werden, die sich bei der Konstruktion von Entscheidungsmodellen oder speziell von Investitionsplanungsmodellen bewährt haben. Diese Heuristiken sind nicht eigentlich schöpferisch zu nennen, ihre Aufgabe ist eher die Erfassung und Vermittlung von Erfahrungen, die bisher bei der Lösung bestimmter Problemstellungen gemacht worden sind. Diese heuristischen Regeln unterstützen den Prozeß der Modellentwicklung, ohne ihn jedoch zu determinieren.

Ohne die Verwendung des intuitiven menschlichen Problemlösungsverhaltens laufen hingegen die heuristischen Programme ab, die sich speziell zur Ermittlung von Lösungen bereits konstruierter und mit Daten versorgter Modelle eignen. In dieser Phase ist die Problemstellung eindeutig, in der Regel

- 1) Vgl. Müller-Werbach, E.: Quantitative Entscheidungsvorbereitung, a.a.O., S. 20
- 2) Eine detaillierte Beschreibung der Methoden findet man bei Schlicksupp, H.: Kreative Ideenfindung in der Unternehmung, a.a.O.

numerisch definiert; die Aufgabe des heuristischen Programms beschränkt sich auf die Ermittlung einer zielgerechten Lösung. Bei der Lösung wohl-definierter, numerischer Probleme konkurrieren die heuristischen Programme mit Algorithmen. "Heuristische Verfahren sind hier nur deshalb eine unter pragmatischen Gesichtspunkten attraktive Alternative, da ihr Entwurf und ihre Implementierung im allgemeinen geringeren personellen, zeitlichen, informatrischen und technologischen Input erfordern."¹⁾

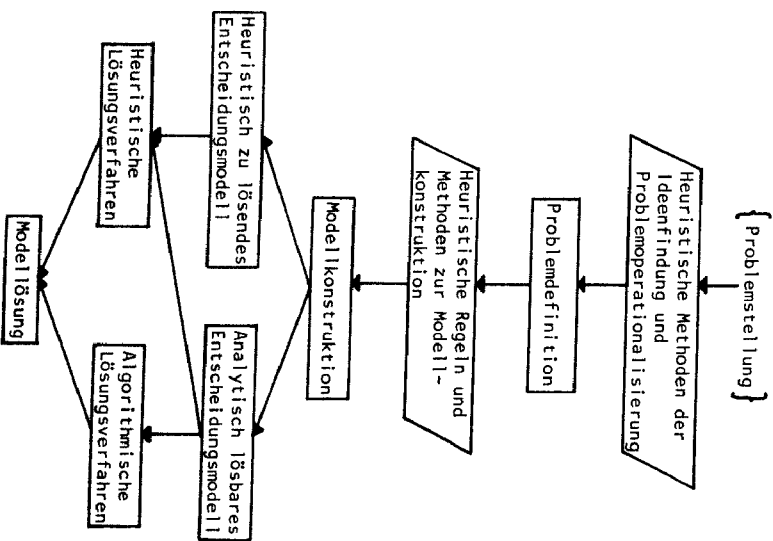


Abb 27 : Einsatzmöglichkeiten heuristischer Methoden bei der Modellentwicklung

1) Meisner, J.-D.; Bausteine zur heuristischen Programmierung, Diss. TU Berlin 1979, S. 45

5. Heuristische Regeln zur Modellkonstruktion

5.1 Exkurs: Algorithmische vs. heuristische Ansätze der Modellkonstruktion

5.1.1 Charakterisierung beider Ansätze

Zur Konstruktion von Entscheidungsmodellen, das heißt zur Gestaltung des Auswahlprozesses der Modellelemente, der Modelldaten und der Modelltechnologie sind in der betriebswirtschaftlichen Literatur zwei konkurrierende Ansätze entwickelt worden.

Der "Ansatz zur Bestimmung der Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen"¹⁾ formuliert zu diesem Zweck ein übergeordnetes "Meta - Entscheidungsmodell". "Da es bei der Bestimmung des optimalen Komplexionsgrades wieder um ein Entscheidungsproblem geht, liegt es nahe, die Lösung mit Hilfe eines Entscheidungsmodells zu finden, eines 'Metamodells' zur Bestimmung des optimalen Komplexionsgrades für das ursprüngliche Modell."²⁾ Dieser Prozeß soll als algorithmisch bezeichnet werden, da versucht wird, in einer marginalanalytischen Betrachtung auf der Grundlage eines Meta-Modells zwischen (Planungs-)Nutzen und (Planungs-)Kosten unterschiedlicher Komplexionsgrade abzuwägen und so den optimalen Kalikul zu bestimmen.³⁾

Dabei wird davon ausgegangen, daß im Meta-Modell alle alternativen Ausprägungen der Modellelemente abbildbar sind und aus diesen

1) Vgl. dazu den Titel der Veröffentlichung von Zentes, J.; Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, Köln-Berlin-Bonn-München 1975 und Teichmann, H.; Die optimale Komplexion des Entscheidungskalküls, in: ZfBf 24. Jg. (1972), S. 519-539

2) Hax, H./Taux, H.; Flexible Planung - Verfahrensregeln und Entscheidungsmodelle für die Planung bei Ungewißheit, in: ZfBf 24. Jg. (1972), S. 318-340, hier S. 329

3) Zum Vorgehen vgl. etwa Teichmann, H.; Die optimale Komplexion des Entscheidungskalküls, a.a.O., insbesondere S. 532 ff

- mit Hilfe eindeutiger Regeln,
 - nach endlich vielen Schritten,
 - für eine ganze Klasse von Problemen ¹⁾
- ein bezüglich des Komplexionsgrads optimales Entscheidungsmodell abgeleitet werden kann.

Demgegenüber geht der heuristische Ansatz davon aus, daß zwar die Freiheitsgrade der Modellbildung bekannt sind, nicht aber unbedingt sämtliche möglichen Ausprägungen der Modellelemente und daß allein die bekannten Ausprägungen so vielfältig sind, daß schon von deren Quantität her eine Optimierung nicht durchführbar erscheint. Hinzu kommt, daß nach Auffassung dieses Ansatzes ein Konstruktionsprozeß immer auch ein schöpferischer Prozeß ist, der Konstrukteur vor Beginn der Problemlösung also nicht "über eine vollständige Kollektion möglicher Schritte (Verfahren, Alternativen) verfügt, aus der er nur diese oder jene zur Prüfung und Erprobung auszuwählen braucht." ²⁾ Nur bei solchen bestimmten Suchräumen wäre ein Algorithmus anwendbar.

Während der algorithmische Prozeß also eindeutig bestimmt, allgemein formuliert, damit automatisierbar ist und diesen Annahmen gemäß immer zu einem optimalen Modell führt, geht der heuristische Konstruktionsprozeß von Regeln aus, die den Lösungsprozeß nur unvollständig determinieren, einen selbständigen Denkprozeß anleiten und steuern und als Ergebnis ein "möglichst gutes" Entscheidungsmodell erbringen. In den dabei verwendeten heuristischen Regeln drücken sich die Erfahrungen und Kenntnisse aus, die der Problemlöser bei der Wahl der Modellelemente, der Daten und der Modelltechnologie braucht; der Erfolg des Konstruktionsprozesses wird aber

1) Vgl. zum Algorithmusbegriff Klein, K.-H.; Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 33
 2) Landau, L.N.; über das Wechselverhältnis von heuristischen und algorithmischen Prozessen, a.a.O., S. 338

letztlich nicht durch die Heuristiken bestimmt, sondern durch die menschlichen Operationen, die durch die Heuristiken aktiviert und gesteuert werden.

5.1.2 Erläuterung des algorithmischen Ansatzes

Der algorithmische Ansatz soll hier nur kurz an einem einfachen Beispiel erläutert werden: ¹⁾

Ein Investor mit mehrfachem Zielsystem stehe vor der Frage, welche Zielsetzungen (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) in dem zu entwerfenden Investitionsplanungsmodell als Extremierungsvorschrift, welche als zu befriedigende Nebenbedingungen, welche durch Ersatzzielgrößen zu erfassen sind und welche zu vernachlässigen sind. "Dabei ergibt sich die Frage, wie weit man bei der Vereinfachung gehen darf, ohne daß die durch Vergrößerung des Modells bewirkten Planungsfehler Einbußen verursachen, die größer sind als die erzielten Kosteneinsparungen." ²⁾

Zur Beantwortung dieser Frage konstruiert und löst der Entscheidungsträger ein Meta-Entscheidungsmodell, welches das mehrdimensionale Zielsystem isomorph abbildet. Sodann untersucht er alle möglichen Vereinfachungen des Meta-Modells durch zum Beispiel:

- Vernachlässigung eines oder mehrerer Elemente des Zielsystems,

1) Ausführliche Darstellungen dieses Ansatzes findet man bei Teichmann, H.; Die optimale Komplexion des Entscheidungskalküls, a.a.O. und Zentes, H.; Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, a.a.O.
 Zur Kritik vgl. auch Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 36 ff und Bretzke, W.-R.; Die Formulierung von Entscheidungsproblemen als Entscheidungsproblem, a.a.O.
 Als Replik vgl. Teichmann, H.; Buchbesprechung zu Bitz, M.; Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., in: ZfB 48 Jg. (1978), S. 1012-1013

2) Hax, H./Laux, H.; Flexible Planung, a.a.O., S. 328

- Verlagerung eines zu extremierenden Elements in eine zu satzifizierende Nebenbedingung,
 - Abbildung einer oder mehrerer Ursprungszielsetzungen in Ersatzzielgrößen.
- Verfolgt der Investor zum Beispiel neben einer finanziellen etwa noch fünf andere quantitativ erfassbare Zielsetzungen, ⁽¹⁾ so könnten sich etwa folgende Kombinationen ergeben:
- die finanzielle Zielsetzung kann in Ursprungsform oder in Form verschiedener finanzwirtschaftlicher Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe (etwa dem Kapitalwert) maximiert werden, ⁽²⁾
 - der Risiko-Aspekt kann als zweite zu extremierende Zielsetzung in einem 'Goal-Programming-Ansatz' erfaßt ⁽³⁾ oder in Form unterschiedlich aufgebauter Nebenbedingungen ⁽⁴⁾ sowie in Form von Ersatzzielgrößen wie der Amortisationszeit erfaßt werden, ⁽⁵⁾
 - weitere nicht-finanzielle Zielsetzungen können ebenfalls in einer mehrdimensionalen Zielfunktion ⁽⁶⁾ oder in Nebenbedingungen abgebildet werden.
- 1) Einen Katalog nicht-finanzieller Zielsetzungen der Investitionstätigkeit, der auf einer Unternehmerbefragung basiert, findet man bei einem Mensch - Maschine - Kommunikationssystem, a.a.O., S. 43 ff
 - 2) Vgl. etwa die Modelle der simultanen Investitionsplanung von Hax, H.; Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O., und Alpbach, H.; Investition und Liquidität, a.a.O., S. 86 ff
 - 3) Vgl. Lee, S.M./Larro, A.J.: Capital Budgeting for Multiple Objectives, in: FM Spring 1974, S. 58-65
 - 4) Vgl. dazu etwa Jacob, H.; Unsicherheit und Flexibilität, a.a.O., S. 315ff und Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 279 ff
 - 5) Zu alternativen Formen der Risikoberücksichtigung vgl. Sundem, G.L.; Simplification of Capital Budgeting Models, Diss. Stanford 1971
Sundem, G.L.; Evaluating Capital Budgeting Models in Simulated Environment, in: JOF Vol. 30 (1975), S. 977-992; Weingartner, H.M.; Some New Views on the Pay Back Period and Capital Budgeting Decisions, in: MS Vol. 15 (1969), S. 594-607 und Häseger, L./Mittmann, F.; Zur Einigung der Amortisationsdauer als Kriterium für Investitionsentscheidungen bei unsicheren Erwartungen, in: ZfB 29. Jg. (1977), S. 475-489
 - 6) Vgl. Bernardo, J.J./Lanser, H.P.: A Capital Budgeting Decision Model with Subjective Criteria, in: JFOA Vol. 12 (1977), S. 261-275

Durch die Kombination aller möglichen Ausprägungen des Zielsystems und der mindestens vier Freiheitsgrade der Abbildung 28 (Vernachlässigung, pauschalisierte Erfassung in einer Ersatzzielgröße, Verlagerung in eine Nebenbedingung und Extremierung der Ursprungszielgröße) ergeben sich unter Umständen mehrere hundert zu überprüfende Entscheidungsmodelle (vgl. das Beispiel in Abb. 28).

Für jedes dieser Modelle ist zu untersuchen, wie weit das Optimum von der Optimallösung des Meta-Modells abweicht, indem die Lösung des vereinfachten Modells in das Meta-Modell eingesetzt ¹⁾ und die Zielfunktionsdifferenz ermittelt wird. "Der Nutzen einer bestimmten Kalkülierweiterung ist die Verbesserung der (Letzt-)Entscheidung: die Änderung der Rangfolge der alternativen Handlungsmöglichkeiten." ²⁾ Der Vereinfachungsträger errechnet die Nutzeneinbuße, die mit einer Vereinfachung des im Modell erfaßten Zielsystems verbunden wäre, "vergleicht diese Größe mit der Ersparnis, die das Rechnen mit einem einfacheren Modell mit sich bringen würde, und gelangt so zu einer Größe, die ihm jeweils den Netto-nutzen des Übergangs von einem der einfacheren zu dem komplexeren Modell anzeigt." ³⁾

Bei diesem Vorgehen ergeben sich kaum zu überwindende Schwierigkeiten: ⁴⁾

- (1) Der entscheidungstheoretisch schwerwiegende Mangel ist die Notwendigkeit eines all-umfassenden Meta-Modells. Das Meta-Modell muß alle relevanten Gegebenheiten der Problemstellung berücksichtigen, darf also keine denkbaren Alternativen ausschließen.
- (2) Vgl. dazu Teichmann, H.; Die optimale Komplexion des Entscheidungskalküls, a.a.O., S. 533
- (3) Teichmann, H.; Buchbesprechung, a.a.O., S. 1013
- (4) Bretzke, W.-R.; Die Formulierung von Entscheidungsproblemen als Entscheidungsschritt, a.a.O., S. 136
- (5) Vgl. Hax, L./Lauk, H.; Flexible Planung, a.a.O., S. 329

Zielgröße	Ursprungsziel	Ersatzzielgröße	Nebenbedingung	Vernachlässigung	Modellanzahl
Endvermögen	Endvermögen	Kapitalwert	-	-	2
Risikoneigung	Risikonutzenfunktion	Gewichtete Varianz	Risikointervalle	Erwartungswert	4
Umsatzmaximierung	Umsatz	-	+	+	3
Soziales Ansehen d. Unternehmung	-	Ausgaben für soziale Zwecke	+	+	3
Erneuerung des Produktprogramms	Anzahl neuer Produkte	Umsatzanteil neuer Produkte	+	+	4
Selbstfinanzierungsmittel	Rücklagen	Bilanzrelationen	Bilanzrelationen	+	4
Anzahl der Arbeitsplätze	Anzahl	Lohnsumme	+	+	4
Anzahl der zu untersuchenden Modellausprägungen					4608

Abb. 28 : Anzahl der möglichen Kombinationen bei 7 Zielsetzungen des Investors und jeweils 4 Freiheitsgraden der Modellabbildung (Exemplarisch)

baren Handlungsmöglichkeiten, Umwelt- und Systembeziehungen sowie Zielsetzungen vernachlässigen.¹⁾

Um sich in einer praktischen Entscheidungssituation zu vergewissern, daß alle Elemente der Problemstellung im Meta-Modell auch wirklich abgebildet sind und es keine Elemente gibt, "die geeignet wären, die Resultate des Meta-Entscheidungsmodells auf den Kopf zu stellen, müßte man nämlich noch einen zusätzlichen Kalkül aufmachen",²⁾ also ein Meta-Meta-Entscheidungsmodell konstruieren.

Nach entscheidungstheoretischer Interpretation ergibt sich so ein unendlicher Regreß: Soll das Meta-Modell alle relevanten Informationen abbilden, so ist jeweils ein übergeordnetes Modell aufzustellen, das dieses überprüft.

"Aus diesem Zirkel gibt es kein Entinnen: Wer den Prozeß der Problemdefinition vollständig als Entscheidungsprozeß beschreiben will, wird paradoxerweise durch seinen eigenen Denkansatz genötigt, an irgendeiner Stelle von einem gegebenen Alternativenfeld bzw. von gegebenen Beschränkungen auszugehen, da es ohne einen Fixpunkt der Analyse, der seinerseits nicht mehr zur Disposition gestellt wird, nichts gibt, über das man zweifelsfrei und eindeutig entscheiden könnte."³⁾

Es muß also eine bestimmte Problemdefinition und Problemstruktur als von vornherein gegeben unterstellt werden, damit ein allumfassendes Meta-Modell als "unabhängiger" Bewertungsmaßstab aller Vereinfachungsbestrebungen aufgestellt werden kann. Diese Prämisse wird in der Literatur

1) Vgl. Hax, H./Laur, H.; Flexible Planung, a.a.O., S. 329

2) Bretzke, W.-R.; Die Formulierung von Entscheidungsproblemen als Entscheidungsspiel, a.a.O., S. 137

3) Eberdort

tur zum Teil heftig kritisiert.¹⁾ Doch wird mit dieser Kritik implizit auch der Sinn der Wissenschaft "Betriebswirtschaftslehre" in Frage gestellt. "Die Gestaltung des unternehmerischen Entscheidungsfeldes setzt eine deskriptive Analyse der in diesem Entscheidungsfeld enthaltenen Tatbestände und Zusammenhänge voraus."²⁾ Im Rahmen dieser Erklärungsaufgabe soll die Betriebswirtschaftslehre das Entscheidungsfeld abgrenzen und die darin enthaltenen Elemente und Systembeziehungen erfassen. Erst nach erfolgter Problemabgrenzung und -strukturierung kann die Betriebswirtschaftslehre ihre Gestaltungsaufgabe wahrnehmen, also Mittel und Wege aufzeigen, wie einzelwirtschaftliche Entscheidungen zu verbessern sind.³⁾ Der Konstrukteur von Entscheidungsmodellen muß bei seiner Problemlösung auf die Erfüllung der Erklärungsaufgabe durch die Betriebswirtschaftslehre vertrauen und somit ein bestimmtes, intersubjektiv gültiges Meta-Modell unterstellen. Befürwortet man die These des "unendlichen Regresses",⁴⁾ so ist strenggenommen diese Kritik auch für die Betriebswirtschaftslehre und letztlich für jede, irgendwie abgegrenzte Wissenschaft gültig.

(2) Gewichtiger als diese Kritik an der begrenzten Gültigkeit jedes Meta-Modells ist der Gesichtspunkt der Vielfalt der Modellelemente, die zu erfassen und über deren Ausgestaltung simultan zu entscheiden ist. "Die Möglichkeit vor Beginn der Konstruktion des Kalküls im Geiste die Reihe aller denkbaren Modelltypen durchzugehen, je-

weils die daraus resultierenden Kosten- und Erfolgskomponenten gegeneinander abzuwägen und als Ergebnis eines solchen Totalvergleichs den optimalen Modelltyp zu bestimmen, kann offenbar von vornherein als illusorisch beiseite geschoben werden."¹⁾

Alternativ werden daher zwei Wege angeboten. Der eine geht aus einem Modellansatz niedriger Komplexion und verfeinert diesen schrittweise solange, bis der Grenzanteil erhöhter Planungskosten den Grenzvorteil einer verbesserten Lösungsgüte aufhebt.²⁾ Demgegenüber vereinfacht der zweite Ansatz ein "theoretisch als richtig erkanntes Modell", geht also den umgekehrten Weg.³⁾ Der zweite Weg ist nur dann sinnvoll, wenn das Modell für eine repetitive Entscheidungssituation konzipiert wird.⁴⁾ Nur wenn das Modell längerfristig und kontinuierlich in gleichartigen Entscheidungssituationen eingesetzt werden soll, erscheint der Aufwand für die mehrfache Lösung unterschiedlich komplexer Modelle vertretbar.⁵⁾ Da die optimale Lösung schon durch die Berechnung des genauesten Kalküls zu Beginn des Vereinfachungsprozesses bekannt ist, muß jeder zusätzliche Planungsaufwand als Investition aufgefaßt werden, die sich bei zukünftigen, gleichartigen Problemlösungen durch die dann erzielten Ersparnisse erst amortisieren muß.⁶⁾ Es ergibt sich die Frage,

1) Vgl. Bretzke, W.-R.: Die Formulierung von Entscheidungsproblemen als Entscheidungsproblem, a.a.O., S. 137 ff und Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 424 ff
 2) Heinen, E.: Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, 14. Beitrag: Wissenschaftsprogramm der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 364-393, hier S. 369 f
 3) Vgl. ebendort
 4) Vgl. Hax, H./Laux, H.: Flexible Planung, a.a.O., S. 329

1) Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 404
 2) Vgl. Reichmann, H.: Die optimale Komplexion des Entscheidungskalküls, a.a.O., insbesondere S. 532 ff
 3) Vgl. Zentes, J.: Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 233 ff
 4) Vgl. denselben, S. 245 f
 5) Vgl. dazu auch Nieden zur, M.: Zur Anwendbarkeit von Informationswertrechnungen, In: ZfB 42. Jg. (1972), S. 493-512, hier S. 503
 6) Vgl. dazu Moxter, A.: Offene Probleme der Investitions- und Finanzierungstheorie, In: ZfB 17. Jg. (1965), S. 1-10, hier S. 10

Inwieweit die heute bei der Modelloptimierung zugrundeliegte Entscheidungssituation repräsentativ ist. Oft wechseln auch bei betrieblichen Routineentscheidungen die Umweltkonstellationen so rasch, daß eine längerfristig geltende Optimalkonstruktion als ausgeschlossen gelten muß. Investitionsentscheidungen haben in aller Regel keinen Routinecharakter, der es ermöglichen würde, ein "ein für allemal" richtiges Modell zu entwickeln. Sinnvoll anwendbar erscheint daher nur der erste Ansatz einer "schrittweisen Erhöhung des Komplexionsgrades." ¹⁾ Dabei wird ein grobes Ausgangsmodell sukzessive verfeinert, wobei dessen Lösung Hinweise auf die Modellelemente gibt, deren Verbesserung am erfolgversprechendsten erscheint. Die Verfeinerung kann dann abgebrochen werden, wenn ein "befriedigendes" Modell entwickelt wurde. ²⁾ Ein solches heuristisches Vorgehen würde zwar die Anzahl der durchzuprüfenden Ausprägungen reduzieren, dafür aber auch nicht die optimale Komplexion des zu entwickelnden Modells bestimmen.

- (3) Bisher wurde implizit davon ausgegangen, daß die Modellkomplexion eine eindimensional meßbare Größe ist, eine Art "Planungsgewinn" als Differenz der beiden - ebenfalls eindimensional meßbaren - Komponenten Planungserlös (= Lösungsgüte) und Planungskosten. Der algorithmische Ansatz unterstellt, daß die Vor- und Nachteile alternativer Modellstrukturen, "die sich durch die Merkmale Anzahl der Ziele, Ausmaß der Ziele, Anzahl und Art der Instrumente und Daten, angewandte formale Methode, rechenstechnische Verfahren und Art der Lösungsaufbereitung unterscheiden," ³⁾ von vornherein deterministisch
- 1) Zum Begriff vgl. Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 403
 - 2) Zur Beurteilung von Entscheidungsmodellen vgl. Abschnitt 5.2.4
 - 3) Zentes, J.: Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 228

oder in Form einer Wahrscheinlichkeitsverteilung bekannt sind. Nur wenn beide Komponenten des Komplexionsgrads quantitativ ermittelt werden können, läßt sich das "klassische" Instrumentarium der normativen Entscheidungstheorie anwenden. ¹⁾ Das Problem der optimalen Modellstruktur reduziert sich auf das Durchmusteren - einer wie erwähnt allerdings recht großen Anzahl - alternativer Modellelemente. Leider sind diese Voraussetzungen in der Realität nicht gegeben. Weder lassen finanzielle, zeitliche und technisch-organisatorische Gegebenheiten eine Abbildung sämtlicher denkbaren Modellelemente in einem Konstruktionsmodell zu, das dann automatisch ein Entscheidungsmodell generiert, noch erscheint es möglich, alle relevanten Eigenschaften eines Planungsmodells in einem eindimensionalen Komplexionsgrad zu erfassen. ²⁾ Empirisch fundierte Studien zeigen, daß die Eigenung eines Entscheidungsmodells für eine Planungsaufgabe sich in einem Anforderungskatalog der Entscheidungssträger niederschlägt, dessen Kriterien sich nicht in einem eindimensionalen Wert zusammenfassen lassen. ³⁾

In der bisher in der Literatur dargestellten Form ist der Ansatz der Bestimmung einer optimalen Modellkomplexion somit eher als der Versuch einer entscheidungstheoretischen Analyse von Modellentwicklungen als eine tatkräftige Unterstützung der praktischen Modellkonstruktion zu werten. Dies

- 1) Vgl. etwa das Vorgehen bei Teichmann, H.: Die optimale Komplexion des Entscheidungskalküls, a.a.O.
- 2) Vgl. zur Kritik an der Quantifizierbarkeit Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 405 und S. 417 ff
- 3) Vgl. Souder, W.E.: A Scoring Methodology for Assessing the Suitability of Management Science Models, in: MS Vol. 18 (1972), S. 526-543 und Schellenberger, R.E.: Criteria for Assessing Model Validity for Managerial Purposes, in: Decision Sciences, Vol. 5 (1974), S. 644-653 sowie Kugel, Y.: A Criterion Model for the Evaluation and Selection of International Business Models, in: Management International Review Vol. 12 (1972), 6, S. 3-20

ist nur insoweit zu kritisieren, als die Verfechter dieses Ansatzes den Anschein einer unmittelbaren Verwertbarkeit ihrer Kriterien und Verfahren im Modellkonstruktionsprozess erwecken, ohne dafür den Beweis anzutreten.¹⁾

5.2 Der heuristische Ansatz der Modellkonstruktion

5.2.1 Zielsetzung des heuristischen Ansatzes

Die Entwicklung eines Entscheidungsmodells ist ein schöpferischer Prozeß, dessen Verlauf stark von dem abzublendenden Problem und den personellen, technischen und organisatorischen Voraussetzungen abhängt. Nur in sehr seltenen Fällen kennt der Modellkonstrukteur von vornherein alle in der besonderen Problemstellung denkbaren Ausprägungen der Modellelemente, der Informationsstruktur und der Modelltechnologie. Nur in diesem Fall eines bekannten, geschlossenen Suchraums kann in einem algorithmischen Prozeß durch gezieltes Durchmusteren der Alternativen das optimale Entscheidungsmodell entwickelt werden. In aller Regel verfügt der Konstrukteur nicht über eine solche vollständige Kollektion möglicher Elemente. Ihm sind zwar die Merkmale einer Reihe von zum Beispiel Investitionsplanungsmodellen bekannt, diese Informationen umfassen aber zumeist nur die Modellelemente und machen zumeist keine Aussagen über die Möglichkeiten zur Datengewinnung und Modelllösung.

Diesen Mangel beabsichtigt der heuristische Ansatz zu überwinden. Er will Erfahrungen erfassen, verallgemeinern und vermitteln, die früher bei der Entwicklung von Entscheidungsmodellen gemacht worden sind. Durch Zusammenfassung dieser Erfahrungen in heuristischen Regeln sollen dem Entscheidungsträger die Kenntnisse und Operationen an die Hand gegeben

¹⁾ Vgl. Zentes, J.: Die Optimalkriterien von Entscheidungsmodellen, a.a.O.

werden, die er braucht, um in einem selbstständigen Konstruktionsprozeß ein effizientes Entscheidungsmodell zu entwickeln. Damit sollen einerseits die Voraussetzungen für eine stärkere Verbreitung mathematischer Planungsmodelle in der Praxis geschaffen werden, andererseits aber auch die Erstellung individueller, problemangepaßter Modelle statt der Übernahme vorhandener Modelle aus der Literatur gefördert werden.

Der heuristische Ansatz zur Unterstützung der Modellkonstruktion befindet sich noch in der Anfangsphase seiner Entwicklung. Er ist einzuordnen in allgemeine Bestrebungen, das Instrumentarium der Unternehmensforschung (oder besser des Operations Research) zu erweitern und Methodologien zur Lösung komplexer Probleme zu schaffen.¹⁾ Bei der Ableitung heuristischer Regeln für die Modellkonstruktion sind zwei Entwicklungsrichtungen zu beobachten. Die eine Richtung versucht Heuristiken, die sich allgemein bei der Lösung schlecht-strukturierter Probleme bewährt haben, auf die Konstruktion von Planungsmodellen zu übertragen.²⁾ Die dabei entwickelten heuristischen Anweisungen sind bezüglich ihrer Effektivität nur für bestimmte Problemstellungen abgesichert, allerdings sprechen Plausibilitätsüberlegungen dafür, daß sie auch bei der Modellkonstruktion sinnvoll anwendbar sind.

Im Gegensatz zu diesem deduktiven "Top-Down"-Ansatz versucht die induktive "Bottom-Up"-Vorgehensweise, ihre bei speziellen Problemstellungen gemachten Erfahrungen zu verallgemeinern.

¹⁾ Vgl. dazu Müller-Merbach, H.: Quantitative Entscheidungsvorbereitung - Erwartungen, Enttäuschungen, Chancen, in: *DMW* 37, Jg. (1977), S. 11-23, besonders S. 17 ff

Vgl. auch Hansmann, F.: Einführung in die Systemforschung - Methodik der modellgestützten Entscheidungsvorbereitung, München 1978

²⁾ Vgl. dazu etwa Beier, Zur Anwendung heuristischer Entscheidungsmodelle bei der Bestimmung eines Konsumprogramms, a.a.O., S. 202 ff und Imboden, C./Zeibundgut, A./Siegenthaler, P.: Klassifikation heuristischer Prinzipien, a.a.O.

nern und in heuristischen Regeln zusammenzufassen.¹⁾ Die so gewonnenen Heuristiken sind somit zwar empirisch abgesichert, wenn auch nur auf einer schmalen Basis, bergen aber aufgrund ihrer relativ großen Bestimmtheit die Gefahr des "Verharrens in eingefahrenen Bahnen" in sich. Orientiert sich jeder Modellkonstrukteur an diesen Heuristiken, wird strenggenommen die Modell- und Datenstruktur dadurch zementiert, neue Erfahrungen werden nicht mehr gemacht. Beim gegenwärtigen Stand der Verbreitung von Planungsmodellen ist diese Gefahr allerdings als gering, der Nutzen der Faustregeln für die Praxis demgegenüber als hoch anzusehen.

Die Ableitung von Regeln mit großer heuristischer Kraft setzt voraus, daß (a) eine ausreichend große und repräsentative Anzahl von realen Modellbildungsprozessen ausgewertet werden kann und (b) der Prozeß der Modellbildung von der Betriebswirtschaftslehre systematisch erforscht wird. Beide Voraussetzungen sind zur Zeit nur unzureichend erfüllt. So existiert eine Lücke in den Veröffentlichungen zu Anwendungsproblemen und den dabei gemachten Erfahrungen.²⁾ "Planungspraxis und Planungsforschung würden nach unserer Ansicht wesentliche Impulse erhalten, wenn die in der Praxis existierenden Planungssysteme besser dokumentiert würden."³⁾ Zumindestens in der amerikanischen Literatur läßt sich in den letzten Jahren jedoch eine Wende erkennen; Berichte von Anwendungsproblemen nehmen dort einen wachsenden Raum ein.⁴⁾⁵⁾ Der heuristische

- 1) Vgl. etwa Stahlknecht, P.; Strategien zur Implementierung von OR-gestützten Planungsmodellen in der Praxis, in: DBW 38. Jg. (1978), S. 39-50 und derselbe, Erfahrungen mit computergestützten Planungsmodellen, in: AI 14. Jg. (1972), S. 209-212. Vgl. auch Morris, W.T.; On the Art of Modelling, in: MS Vol. 13 (1967), S. 707-717
- 2) Vgl. Pfohl, H.-Ch.; Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, a.a.O., S. 77 und Miller-Merbach, H.; Theorie des Operations Research, in: ZOR Bd. 18 (1974), S. 89-91
- 3) Götzten, G./Kirsch, W.; Problemfelder und Entwicklungstendenzen der Planungspraxis, a.a.O., Fußnote 5 auf S. 164
- 4) Vgl. Pfohl, H.-Ch.; Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, a.a.O., S. 77
- 5) Vgl. zum Beispiel die Zeitschrift INTERFACES

Ansatz der Modellkonstruktion baut also zur Zeit auf einem sehr kleinen empirischen und theoretischen Fundament auf. Dies birgt die Gefahr der Ableitung falscher heuristischer Prinzipien in sich.

Diese Einschränkungen gelten auch für die in dieser Arbeit gemachten Ausführungen. Zur Ableitung gesicherter heuristischer Prinzipien bedarf es einer systematischen Definition und Erforschung von Problemfeldern des Modellentwurfs durch die Unternehmensforschung und (in diesem Fall) die Investitionstheorie.

Die systematische Erforschung des Modellentwurfs trifft auf eine Fülle methodischer Schwierigkeiten. Eine erste Gruppe von Schwierigkeiten ergibt sich aus der Vielfalt realer, in Modellen abbildbarer Problemstellungen. Wissenschaftliche Versuche, diese Vielfalt durch Typenbildung auf einem mittleren Abstraktionsniveau "zwischen der individualisierenden, völlig ins Detail gehenden Betrachtung des konkreten Einzelfalls und der völligen Abstraktion in realitätsfernen Denkmodellen"¹⁾ zu reduzieren, sind für die Charakterisierung von Entscheidungssituationen noch nicht weit entwickelt²⁾ und sind zudem entscheidungstheoretisch angreifbar. "Entscheidungssituationen kann man nicht nach dem Vorbild von Brehm's Tierleben einer Typologie unterziehen, weil sie keine natürlich strukturierten Gegebenheiten, sondern zu erarbeitende Konstrukte sind."³⁾

Selbst bei einer Einigung auf eine notwendigerweise sehr umfangreiche, sich dynamisch weiterentwickelnde Typologie von

- 1) Pfohl, H.-Ch.; Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 227
- 2) Vgl. denselben, S. 255 ff
- 3) Bretzke, W.-R.; Die Formulierung von Entscheidungsproblemen als Entscheidungsproblem, a.a.O., S. 143

Entscheidungsproblemen entstehende eine weitere Schwierigkeit durch die Fülle der Freiheitsgrade, über die der Modellkonstrukteur im jeweiligen Einzelfall verfügt.¹⁾

Ein weiteres schwerwiegendes Problem ergäbe sich aus der Notwendigkeit, über die Vielzahl alternativer Modellauslegungen vergleichende Untersuchungen anzustellen, deren Ergebnisse für alle, in der Typologie zusammengefaßten realen Situationen repräsentativ sind.

Aus diesen Schwierigkeiten, die sich bei der Ableitung allgemeingültiger und fundierter Aussagen zur Modellkonstruktion ergeben, resultiert nach Meinung des Verfassers auch das bisher nur geringe Interesse, das die Betriebswirtschaftslehre der Konstruktion von Entscheidungsmodellen entgegenbringt. "Innerhalb der Disziplin des Operations Research sind eine große Anzahl von Algorithmen (insbesondere der Optimierung) entwickelt und eine Reihe von Standardmodellen für häufig auftretende Problemstellungen vorgestellt worden. Der Prozeß des Modellentwurfs scheint jedoch nur in Ausnahmefällen das Interesse der Wissenschaftler auf sich gezogen zu haben."²⁾

5.2.2 Allgemeine heuristische Regeln der Modellkonstruktion

- Eine heuristische Regel ist eine systematische Verfahrensvorschrift, die u.a.
- die Komplexität des zu lösenden Problems zu mindern versucht,
- den Ablauf des Problemlösungsprozesses zu gliedern versucht bzw.
- das gesamte Lösungsverfahren oder Teile davon festlegt,

1) Vgl. Abschnitt 5.1

2) Miller-Werbach, H.; Entwurf von Input-Output-Modellen, a.a.O., S. 521

mit dem Ziel," innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums mit bestimmten Ressourcen "zu einer zulässigen Lösung des Problems zu kommen."¹⁾ Allgemeine heuristische Regeln sind unabhängig von bestimmten Problemklassen anwendbar,²⁾ während "special purpose heuristics"³⁾ nur für bestimmte Aufgabebereiche gültig sind.⁴⁾ "Je allgemeiner eine heuristische Anweisung ist, desto größer ist die darin enthaltene Unbestimmtheit, desto weniger determiniert sie folglich die entsprechenden Handlungen des Lösenden und desto mehr Selbstständigkeit und schöpferisches Vorgehen fordert sie von ihm."⁵⁾

Allgemeine heuristische Regeln sind deskriptiv - theoretische Aussagen über das menschliche Problemlösungsverhalten in komplexen Entscheidungssituationen. Sie beschreiben auf abstrakter Ebene das "Typische" von Vorgehensweisen realer Problemlöser, die sich in Problemstellungen vergleichbarer Komplexität als sinnvoll erwiesen haben. Allgemeine heuristische Regeln sind also keine theoretischen Konstruktionen, sondern empirisch gewonnene und begründbare Aussagen.⁶⁾

Heuristische Prinzipien sind in einer Reihe von Quellen entwickelt und begründet worden. Bahnbrechend zu nennen sind insbesondere die Arbeiten von Newell/Shaw/Simon.⁷⁾ Für die

1) Beier, U.; Zur Anwendung heuristischer Entscheidungsmethoden bei der Bestimmung eines Konsumprogramms, a.a.O., S. 201

2) Vgl. für viele Kirsch, W.; Entscheidungsprozesse Bd. II, a.a.O., S. 158f

3) Vgl. Feigenbaum, E.A./Feldman, J.; Computers and Thought, a.a.O., S. 6
4) Weibner, J.D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 9 f unterscheidet neben allgemeinen und speziellen Heuristiken nach dem Grad der Operationalität heuristische Konzepte, Prinzipien und Regeln.

5) Landa, I.N.; Über das Wechselverhältnis von heuristischen und algorithmischen Prozessen, a.a.O., S. 345

6) Zur empirischen Gewinnung heuristischer Prinzipien vgl. Klein, H.-K.; Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 73 ff

7) Vgl. etwa die beiden, in Feigenbaum, E.A./Feldman, J. (eds.); Computers and Thought, a.a.O., wieder abgedruckten Aufsätze Newell, A./Shaw, J.C./Simon, H.A.; Empirical Explorations with the Logic Theory Machine: A Case Study in Heuristics, S. 109-134 (ursprüngliches Erscheinungsjahr 1957) und Newell, A./Simon, H.A.; GPS, A Program that Simulates Human Thought, S. 279-293 (ursprünglich 1961 erschienen)

Entwicklung eines mathematischen Planungsmodells werden diese Regeln meines Wissens in der deutschen Literatur erstmals von Beier¹⁾ verwendet.

In der Folge werden eine Reihe von allgemeinen heuristischen Regeln dargestellt, die in der Phase der Modellkonstruktion sinnvoll anwendbar zu sein scheinen: 2)

Regel 1: zerlege das ursprüngliche Problem in eine Reihe von Teilproblemen.

Dieses Prinzip der Problemzerlegung ist sowohl in der Modellentwicklung wie auch bei der Modelllösung³⁾ sinnvoll anwendbar. Es wurden zum Beispiel bei der Konstruktion des in Abschnitt 2.3 vorgestellten Investitionsprogrammplanungsmodells verwandt. An diesem Beispiel werden die Vorteile dieses allgemeinen Prinzips deutlich: Durch den Modulaufbau des Modells sind in der Konstruktionsphase die Teilkomplexe weitgehend unabhängig voneinander und können somit in zeitlicher und/oder organisatorischer Trennung entwickelt werden. Zu achten ist dabei auf die eindeutige Abgrenzung der Teilkomplexe und eine klare Definition der Schnittstellen zwischen den zu entwickelnden Teilmodellen.

1) Vgl. Beier, U.: Zur Anwendung heuristischer Entscheidungsmethoden bei der Bestimmung eines Konsumprogramms, a.a.O.

2) Diese heuristischen Prinzipien werden verstreut in der Literatur angeboten. Schwerpunktartig ausgewertet wurden die Zusammenstellungen von Beier, U.; Zur Anwendung heuristischer Entscheidungsmethoden bei der Bestimmung eines Konsumprogramms, a.a.O. und Imboden, C./Leibnizgut, A./Siegenthaler, P.; Klassifikation heuristischer Prinzipien, a.a.O.

3) Dieses Prinzip ist Grundlage aller Dekompositionsverfahren zur Modelllösung. Vgl. zu den Dekompositionsverfahren für lineare Programme Hagelschuer, P.B.; Theorie der Linearen Dekomposition, Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Systems 58, Berlin-Heidelberg-New York 1971 und Tan, S.T.; Beiträge zur Dekomposition von linearen Programmen, a.a.O.

Vgl. zur Verwendung dieses Prinzips bei der Modellkonstruktion Morris, W.T.; On the Art of Modelling, a.a.O., S. 709 ff

4) Zu den praktischen Vorteilen der Modellzerlegung vgl. Koenig, J.W.-J.; Dynamische Optimierungsmodelle in der Chemischen Industrie, Diss. Hamburg 1968, insbesondere S. 12 ff

Die Modellzerlegung kann in sachlich-vertikaler, sachlich-horizontaler oder in zeitlicher Form erfolgen.¹⁾ Bei der horizontalen Dekomposition wird das Modell in eine Reihe nebengeordneter Teilmodelle (zum Beispiel nach Unternehmensbereichen) zerlegt, die jeweils nur Elemente aus dem angesprochenen Bereich enthalten. Es existieren also zum Beispiel Absatz-, Produktions-, Investitions- und Finanzierungsmodelle, die jeweils unabhängig voneinander einsetzbar sind. Demgegenüber werden bei der vertikalen "Modellstufung" hierarchisch Ober- und Untermodelle kreiert, die aber jeweils alle zu planenden Bereiche enthalten. Bei einer simultanen Investitions- und Finanzplanung enthält also jedes Teilmodell Investitions- und Finanzierungsvariable. Es empfiehlt sich, die Modellzerlegung in Anlehnung an die Organisationsstruktur der betreffenden Unternehmung vorzunehmen, da dadurch

- die Datengewinnung durch Anlehnung an das vorhandene Informationssystem erleichtert wird;
- der jeweilige Bereichsleiter als "sachverständiger" bei der Entwicklung "seines" zukünftigen Planungsmodells mitarbeiten kann und dadurch sozialen Widerständen, die einen Großteil kurzfristig erfolgreicher Modellimplementierungen langfristig scheitern ließen, entgegengewirkt werden kann. 2)
- das jeweilige Teilmodell auch bei Unvollständigkeit des Gesamtsystems schon Bereichsvorgaben ermitteln kann, die Basis für einen Vorher-Nachher-Vergleich sind und damit die Nützlichkeit des Entscheidungsmodells beweisen beziehungsweise Anregungen für Verbesserungen geben können.
- eine Übereinstimmung von organisatorischen und modelltechnischen Planungs- und Verantwortungsbereichen herge-

1) Vgl. Koenig, J.W.-J.; Dynamische Optimierungsmodelle in der Chemischen Industrie, a.a.O., S. 36 ff. Koenig unterscheidet zwischen Stufenformen (zeitlich, sachlich, örtlich) und Integrationsformen (horizontal, vertikal).

2) Zur Bedeutung sozialer Widerstände für die Modellimplementierung vgl. Pfehl, H.-Ch.; Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, a.a.O., S. 76 ff

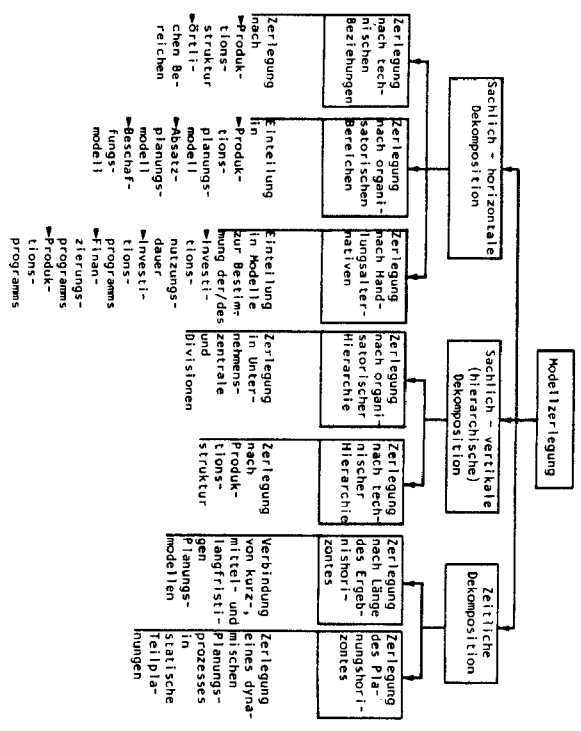


Abb 29 : Mögliche Formen der Zerlegung von Entscheidungsmodellen in Teilmodelle

stellt und damit ein integriertes Mensch-Modell-Planungssystem entsteht.

Diese - sicher nicht erschöpfend dargestellten - Vorteile gelten in analoger Form auch bei der zeitlichen Modellzerlegung. Ein Planungsmodell, das sich an der üblichen zeitlichen Einteilung der Planung in kurz-, mittel- und langfristig orientiert, ist zum Beispiel in der Lage, ein langfristig geplantes Produktionsprogramm auf seine kurzfristige, fertigungstechnische Realisierbarkeit und Zielerreichung zu überprüfen und gegebenenfalls Änderungsvorschläge zu erarbeiten, braucht aber nicht bei jedem langfristigen Planungsvorgang die erst kurzfristig zur Verfügung stehenden Detaildaten mit zu erheben. ¹⁾

In aller Regel werden die verschiedenen Formen der Modellzerlegung miteinander kombiniert. So schlagen etwa Maier/van der Weide ²⁾ eine hierarchische Zerlegung vor, bei der die Unternehmenszentrale als Plankoordinator für die einzelnen Geschäftsbereiche tätig ist. Während die Geschäftsbereiche jedoch nur eine Investitionsprogrammplanung bei gegebenem Investitionsbudget durchführen, führt die Unternehmensleitung eine simultane Ermittlung des Finanzierungsprogramms und der Investitionen in den einzelnen Bereichen durch. ³⁾ Eine solche Kombination aus hierarchischer und sachlich-horizontaler Dekomposition schlägt auch Rosenberg

1) Zur zeitlichen Zerlegung von Planungsmodellen vgl. Hax, A.C.: Hierarchical Planning Systems - A Production Application, in: Pötzscheder, H. (Hrsg.): Computergestützte Unternehmensplanung, Stuttgart 1977, S. 103-136
 Vgl. auch Schreiner, W.: Zur Entwicklung eines Modells hierarchischer Gesamtplanung, Vortrag anlässlich der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Operations Research in Regensburg im September 1979
 2) Vgl. Maier, S.F./van der Weide, J.H.: Capital Budgeting in the decentralized firm, in: MS Vol. 23 (1976), S. 433-443
 3) Vgl. auch Hellwig, K.: Mehrstufige Unternehmensplanung, Weissteinheim am Glan 1976

unter Einbeziehung der leistungswirtschaftlichen Planungsbereiche vor.¹⁾

Eine Verbindung von zeitlicher und sachlich-horizontaler Zerlegung wählen Burton/Damon/Obel. In ihrem Ansatz legt ein langfristiges Modell das Investitions- und Finanzierungsprogramm fest, während kurzfristige Untermodelle das Produktionsprogramm bei jeweils gegebenen Produktionskapazitäten bestimmen.²⁾

"An ideal factoring of the system design problems would yield simpler problems which could be modeled and would subsequently permit easy combination into a system model."³⁾ Die Aufspaltung in leichter lösbare Teilprobleme wirft das Problem der Berücksichtigung der Interdependenzen zwischen den einzeln erfaßten Teilbereichen auf.⁴⁾

Zur Berücksichtigung der Interdependenzen der Planungsbe-
reiche können folgende Wege beschritten werden:

(1) Die Teilbereiche können so gebildet werden, daß schwerwiegende Interdependenzen möglichst erhalten bleiben. Welche Beziehungen von welcher Bedeutung zwischen den Planungsbereichen existieren, ist exakt zwar erst nach der optimalen Lösung des Gesamtproblems bekannt, doch

- 1) Vgl. Rosenberg, O.: Koordination von Investition und Finanzierung bei dezentraler Planung, a.a.O.
- 2) Vgl. Burton, R.M./Damon, W.W./Obel, B.: An organizational model of integrated budgeting for short-run operations and long-run investments, in: J. Opl. Res. Soc. Vol. 30 (1979), S. 575-585 und Burton, R.M./Damon, W.W.: Budgets for integrating decentralized investment and production planning, in: OMEGA Vol. 7 (1979), S. 113-117
- 3) Morris, W.T.: On the art of modeling, S. B 711
- 4) Vgl. Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 93 ff

Kann eine eingehende Problemanalyse auch schon vorher die schwerwiegenden von den weniger relevanten Interdependenzen trennen.

(2) Es werden Verfahren zur wechselseitigen Abstimmung der Teilpläne angewendet. Die linearen Dekompositionsverfahren lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Verfahren der direkten Planungsabgrenzung¹⁾ (budget approach)²⁾ erreichen eine Planabstimmung durch direkte Vorgabe der in jedem Bereich beanspruchbaren knappen Ressourcen, während die Ansätze der indirekten Planungsabgrenzung¹⁾ (price coordinated approach)²⁾ für die gemeinsam beanspruchten Faktoren Verrechnungspreise so bestimmen, daß ein globales Optima aus den Teiloptima abgeleitet werden kann.³⁾

(3) "Durch entsprechende Prämissen wird die dem Entscheidungsmodell zugrundeliegende hypothetische Entscheidungssituation so zurechtgestutzt, daß zwischen dem betrachteten Teilbereich und dem restlichen Entscheidungsfeld weder technologische noch wertmäßige Wechselwirkungen bestehen."⁴⁾ Ein Beispiel für eine solche Prämisse ist die Annahme eines vollkommenen Kapitalmarktes in Investitionsrechnungsverfahren.

- 1) Vgl. zu dieser Begriffswahl Hellwig, K.: Mehrstufige Unternehmensplanung, a.a.O., S. 2 ff
- 2) Vgl. Burton, R.M./Damon, W.W.: Budgets for Integrating Decentralized Investment and Production Planning, a.a.O., S. 115 ff
- 3) Verfahren der direkten Planungsabgrenzung werden zum Beispiel vorgeschlagen von Kornai, J./Liptak, T.: Two-level planning, in: *Econometrica* Vol. 33 (1965), S. 141-169 und Ten Kate, A.: Decomposition of linear programs by direct distribution, in: *Econometrica* Vol. 40 (1972), S. 883-898, während Lenkungspreissätze unter anderem entwickelt wurden von Dantzig, G./Wolfe, P.: The decomposition algorithm for linear programming, in: *Econometrica* Vol. 29 (1961), S. 767-778 und Barroil, W.J./Fabian, T.: Decomposition - Pricing for Decentralization and External Economies, in: *MS Vol.* 11 (1964), S. 1-32
- 4) Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 100

Auch bei Vernachlässigung oder nur vereinfachter Abbildung der Interdependenzen muß allerdings auf jeden Fall die Verträglichkeit der Teilpläne untereinander gesichert werden. Auf die bessere Übersichtlichkeit und Anpassungsfähigkeit eines zerlegten Modells an Umweltentwicklungen sei abschließend hingewiesen, genauso auf die durch die notwendige Redundanz der Modellformulierung unter Umständen erschwerte Lösung.

Regel 2: Versuche, analoge Problemlösungen zu finden!¹⁾

Gelingt es, in der Literatur oder in sonstigen Quellen ein Entscheidungsmodell zu finden, das sich auf das vorhandene Realproblem mit nur geringfügigen Modifikationen übertragen läßt, so ist damit der Entwicklungsaufwand unter Umständen erheblich zu senken. Allerdings verleitet dieses Prinzip dazu, nach "Patentrezepten" zu suchen und gegebenenfalls das vorliegende Problem so zu interpretieren, daß ein vorhandenes Planungsmodell "paßt". Standardmodelle existieren nur für Unternehmen mit ebenso standardisierten Problemstellungen und dann auch nur für Teilbereiche, zum Beispiel für die Raffinerieproduktionsplanung eines Mineralölkonzerns, die Flotteneinsatzplanung einer internationalen Luftverkehrsgesellschaft oder die Belieferungsplanung einer regionalen Brauerei. Auf der Suche nach analogen Problemlösungen wird der Modellkonstrukteur in der Regel nur Anregungen zur Lösung von begrenzten Teilproblemen finden.²⁾ Die Suche wird weiter dadurch erschwert, daß in der Literatur zu findende Modelle in der Regel zur Erläuterung theoretischer Phänomene konzipiert sind und nur selten ohne Modifikationen für praktische Planungsprobleme verwendet werden können. Praktisch eingesetzte Modelle werden hingegen zumeist als Betriebsgeheimnis behandelt und nicht veröffentlicht.

1) Vgl. Morris, W.T.: On the Art of Modelling, a.a.O., S. 709 ff

2) Vgl. Laeger, F.: Die Bildung problemangepaßter Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 50

Durch Suche nach externen Analogien kann also in aller Regel allein die eigenständige Formulierung eines Planungsmodells erspart werden, kaum aber die in der Regel sehr viel höheren Aufwendungen zur Beschaffung der notwendigen Daten und der Modelltechnologie.

Aussichtsreicher erscheint die Suche nach internen Analogien. Liegen zum Beispiel aus einem anderen Unternehmensbereich oder für eine anders gelagerte Problemstellung im gleichen Bereich Erfahrungen mit einem bestimmten Typ von Entscheidungsmodellen oder Lösungsmethoden vor, so ist nach der "Regel der vertrauten Gegebenheiten" zu versuchen, ob auf der Grundlage dieses Ansatzes auch eine Lösung des neuen Problems möglich ist. Dadurch kann sowohl eine Senkung des notwendigen Planungsaufwandes erreicht, wie auch sozialen Widerständen vorgebeugt werden.

Eine besondere Form der Analogplanung liegt vor, wenn versucht wird, durch Interpretation des Problems in anderen Kategorien oder einer anderen Systematik, eine formal gleichstrukturierte, inhaltlich aber nicht notwendigerweise korrespondierende Aufgabenstellung zu finden.

Die Unternehmensforschung beschäftigt sich seit Jahren mit einer Reihe von Formalproblemen wie zum Beispiel dem Knapsack- und dem Zuordnungsproblem. Die dort gewonnenen Erkenntnisse können speziell in der Phase der Algorithmenwahl und Modelllösung von erheblichem Nutzen sein, wenn es gelingt, zumindestens Teile des Modells so zu formulieren, daß sie einem solchen Formalproblem entsprechen. Ein simultanes Investitions- und Finanzierungsprogrammplanungsproblem läßt sich unter gewissen Umständen zum Beispiel als mehrdimensionales Knapsackproblem abbilden.¹⁾

1) Vgl. Abschnitt 6

Regel 3: Formuliere ein Problem so, daß es eine Vereinfachung der Beziehungungsweise eine Vereinfachung des eigentlichen Problems ist (Abstraktion)

"Jedes Modell ist eine vereinfachte Abbildung der Wirklichkeit."¹⁾ Dies ergibt sich unter anderem aus den technischen Randbedingungen wie den zur Verfügung stehenden Informationsbeschaffungs- und -auswertungstechniken und aus der Fülle realer Gegebenheiten, die nur auf der Basis einer subjektiven Interpretation und Auswahl in dem geschlossenen Rahmen eines Entscheidungsmodells abgebildet werden können. Von dieser gewissermaßen "notwendigen" Vereinfachung ist die "geplante" einfachere Abbildung von Elementen der Modell- und Datenstruktur zu unterscheiden. Diese gezielte Abstraktion kann darin bestehen, daß bei der Modell- oder Datenstruktur sowie der Modelltechnologie ganze Merkmale oder Beziehungen bewußt vernachlässigt oder in ihren Eigenschaften verändert werden.²⁾ "Für dieses vereinfachte Problem mag eine Lösung leichter zu finden sein, als für das ursprüngliche Problem."³⁾

Als grundsätzliche Wege der Vereinfachung bieten sich an:

1. Eine Vereinfachung der Modellstruktur mit den Möglichkeiten:⁴⁾
 - a. einer Vereinfachung der Abbildung des Zielsystems,
 - b. einer Reduktion der im Modell abgebildeten Handlungsalternativen,
 - c. einer vereinfachten Beschreibung der Handlungskonsequenzen,
 - d. einer vereinfachten Präzision bei der Erfassung der Systembeziehungen und Umweltbeziehungen,
- 1) Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 27
- 2) Vgl. Imboden, C./Leibnig, A./Siegenthaler, P.; Klassifikation heuristischer Prinzipien, a.a.O., S. 318
- 3) Meißner, J.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 84
- 4) Vgl. Teichmann, H.; Die optimale Komplexion des Entscheidungskalküls, a.a.O., S. 526

e. einer zeitlichen Aggregation des Aktions- und Ergebnishorizontes.

Abbildung 30 stellt mögliche Vorgehensweisen bei der Vereinfachung der Modellstruktur und damit auch der erforderlichen Datenquantität zusammen.

2. Eine Vereinfachung der Datenstruktur, insbesondere der Datenqualität, die ansetzen kann:

a. am Vollkommenheitsgrad der verarbeiteten Informationen.

Bei einem Entscheidungsmodell mit Risikoberücksichtigung ist bei unveränderter Modellstruktur darüber zu entscheiden, wie breit die abgebildete Ergebnismatrix sein soll.¹⁾ Es stellt sich die Frage, "ob denn wirklich alle denkbaren Ergebnisvektoren modellmäßig erfaßt werden sollen."²⁾ Zum einen können für "sehr unwahrscheinlich" gehaltene Ereignisse oder solche mit gleichen Ergebnissen für alle Alternativen aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden,³⁾ zum anderen ist auch die Verdichtung des Ergebnissfeldes auf wenige "repräsentative" Ergebniszustände denkbar.⁴⁾ b. am Präzisionsgrad insbesondere durch Vergrößerung der Daten, zum Beispiel durch Verwendung weniger aufwendiger Informationsgewinnungs- und Prognosetechniken.

- 1) Zum Begriff vgl. Bamberg, G./Coenenberg, G.; Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, a.a.O., S. 21 f
- 2) Bitz, M.; Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 167
- 3) Vgl. derselbe, S. 167-185
- 4) Vgl. derselbe, S. 372 ff

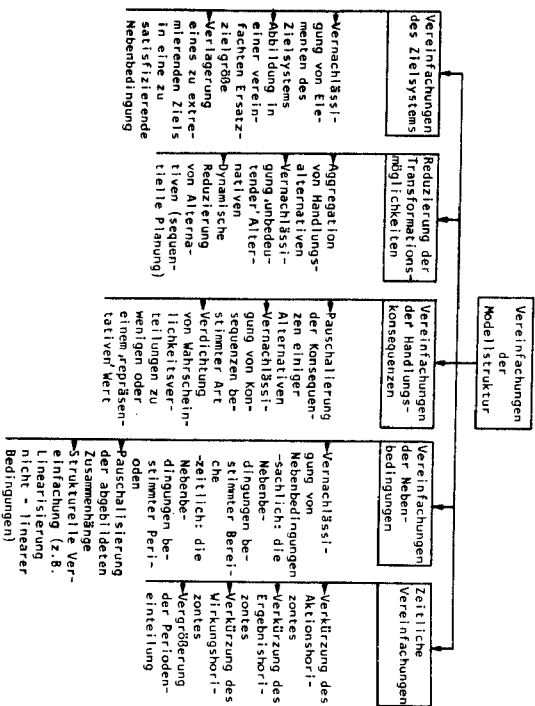


Abb. 30 : Möglichkeiten zur Vereinfachung der Modellstruktur

3. Eine Vereinfachung der Modelltechnologie, die insbesondere die Wahl des Lösungsverfahrens und die Aufbereitungsform der Ergebnisse umfassen kann.¹⁾

Ob eine bestimmte Vereinfachung zweckmäßig und die Übertragung der vereinfachten Modelllösung auf das Ursprungsproblem nach wie vor zulässig ist, kann aufgrund des großen Allgemeinheitsgrades dieses Prinzips a priori nicht beantwortet werden. "Für zulässig halten wir eine Abstraktion dann, wenn entweder keine für das entsprechende Problem relevanten Merkmale oder Beziehungen verändert werden oder wenn einschneidende Veränderungen nachträglich durch eine Modifikation der Planlösung wieder Rechnung getragen werden kann."²⁾ Erwartungen über die Zulässigkeit einer Vereinfachung können gebildet werden (a) aufgrund einer intuitiven Einschätzung, (b) auf der Basis eigener oder fremder Erfahrungen in analogen Entscheidungssituationen, (c) mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen über die Auswirkungen potentieller Vereinfachungen³⁾ und (d) unter Verwendung von Simulationsstudien mit künstlichen, aber plausiblen Daten.⁴⁾

1) Vgl. dazu Abschnitt 4.2

2) Imboden, C./Leibundgut, A./Siegenthaler, P.: Klassifikation heuristischer Prinzipien, a.a.O., S. 318

3) Zur Abschätzung des Aggregationsfehlers vgl. Jijiri, Y.: Fundamentals Queries in Aggregation Theory, in: Journal of the American Statistical Association Vol. 66 (1971), S. 766-782 und Geoffrion, A.M.: Aggregation Theory and its Application to Modeling in Mathematical Programming, in: Western Management Science Institute (University of California, Los Angeles), Working Paper No. 278, Los Angeles 1977

4) Vgl. dazu Laafer, F.: Die Bildung problemangepasster Entscheidungsmodelle, Zürich 1974, S. 86 ff und Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 407
Vgl. auch Raine, P.S./Flavell, R.B./Salkin, G.R.: Determining appropriate levels of data aggregation in a linear programming model, in: EJOR Vol. 2 (1978), S. 26-31

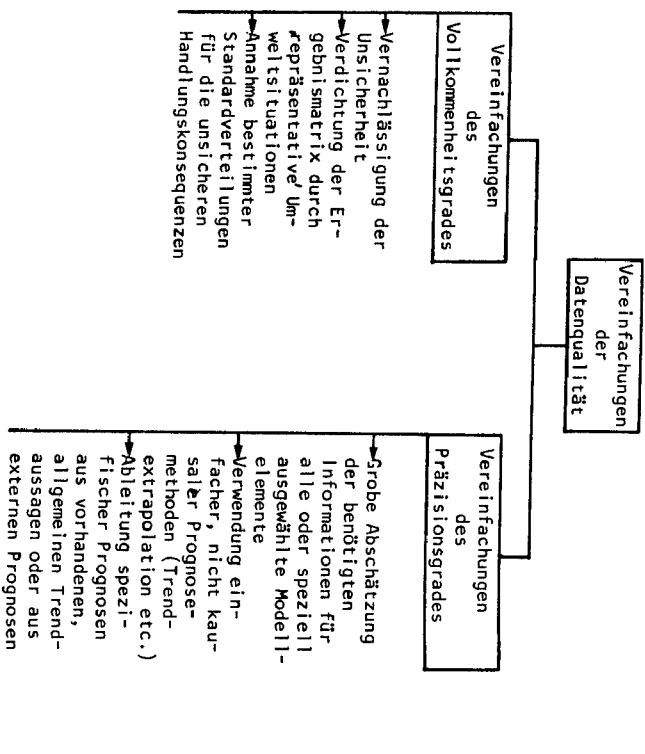


Abb. 31 : Möglichkeiten zur Vereinfachung der Datenqualität

Regel 4: Formuliere ein Anspruchsniveau und nähere dich diesem schrittweise!

Vor Beginn des Konstruktionsprozesses sind die Leistungen zu definieren, die das Modell für den Entscheidungsprozess erbringen soll.¹⁾ Ein Modell, das alle diese Anforderungen erfüllt, wird nur selten und dann auch nur schrittweise zu entwickeln sein. Zum einen überschätzen die Entscheidungsträger in vielen Fällen die Möglichkeiten quantitativer Entscheidungsvorbereitung, zum anderen sind sie nur selten in der Lage, ihre Vorstellungen umfassend zu präzisieren.

Ein mögliches heuristisches Vorgehen ist es daher, zunächst ein von der Struktur und der erforderlichen Modelltechnologie-

1) Vgl. Abschnitt 5.2.4

gie her einfaches "Pilot-Modell" zu entwickeln. Ein solches Modell wird nur einige der Anforderungen erfüllen, die vom Entscheidungsträger gesetzt worden sind, führt aber zu ersten wertvollen Hypothesen über die Eigenschaften des realen Systems und zu einer Präzisierung der Anforderungen.¹⁾

So kann eine solche Pilotstudie etwa potentielle Engpässe aufzeigen und in diesen Bereichen eine detaillierte Abbildung des Systems initiieren. Ist das Modell so formuliert, daß die Restriktionen weniger einengend sind als sie bei annähernd isomorpher Abbildung der Realität wären, so wird die Lösung des Pilot-Modells das am Ende erreichbare Ergebnis immer überschätzen. Übersteigt das Anspruchsniveau des Entscheidungsträgers diese Lösung, so ist es entsprechend zu reduzieren. Diese Notwendigkeit einer Anpassung des Anspruchsniveaus ist auf der Basis des einfachen und transparenten Pilot-Modells leichter einzusehen als auf der Ebene des komplexen Optimalmodells.

In Bezug auf die, durch das Pilot-Modell aufgezeigten Schwachpunkte ist eine schrittweise Verbesserung zum Beispiel durch Einführung neuer Modellelemente oder einer gesteigerten Datengenauigkeit vorzunehmen. In einem sukzessiven Verbesserungsprozess nähern sich die Anforderungen des Benutzers und die Fähigkeiten des Modells einander an; das endgültige Planungsmodell entsteht in kleinen, überschaubaren Schritten.²⁾ Die für die Pilot-Modelle aufgewendete Arbeit kann dabei unter Umständen auch nach Abschluß der Konstruktionsphase noch sinnvoll genutzt werden: Erbringt es eine gute Abschätzung des komplexen Modells, so kann es sich aus ökonomischen Grün-

1) Vgl. Urban, G.L.: Building Models for Decision Makers, in: Interfaces Vol. 4 (1974), 3, S. 1-11, hier S. 4

2) Ein ähnliches Vorgehen verfolgt Geoffrion, A.M.: The Purpose of Mathematical Programming is Insight, not Numbers, a.a.O., bei der Konstruktion von Standortplanungsmodellen.

den lohnen, bei nur geringfügigen Änderungen der Planungsdaten auf eine Lösung des "großen Modells" zu verzichten und die erforderlichen Modifikationen aus der Pilotmodell-Lösung abzuleiten.¹⁾

Neben diesen vier allgemeinen heuristischen Prinzipien werden in der Literatur noch eine Reihe weiterer Regeln entwickelt.²⁾ Da diese Regeln meist nur Konkretisierungen der dargestellten Prinzipien für bestimmte Modellelemente sind, etwa für die Abbildung des Zielsystems im Entscheidungsmodell, sei auf ihre Darstellung verzichtet.

5.2.3 Spezielle heuristische Prinzipien zur Konstruktion von Investitionsprogrammplanungsmodellen

Spezielle heuristische Prinzipien spiegeln die Erkenntnisse wieder, die bei der theoretischen Durchleuchtung oder der praktischen Lösung einer bestimmten Problemklasse im Laufe der Zeit gewonnen worden sind.

Die Problemklasse kann dabei entweder formal - zum Beispiel in Anlehnung an die Modelltechnologie - oder inhaltlich abgegrenzt werden. Für Investitionsplanungsprobleme sind damit sowohl die Erkenntnisse der Investitionstheorie wie auch die Erfahrungen nutzbar, die bei der Formulierung linearer Planungsmodelle gewonnen wurden.

Aufgrund ihres nur geringen Allgemeingrades können spezielle heuristische Regeln dem Modellkonstrukteur relativ

1) Vgl. dazu Ignall, E.J./Kolesar, P.: Using Simulation to Develop and Validate Analytic Models: Some Case Studies, in: Operations Research Vol. 26 (1978), S. 237-253

2) Vgl. etwa die Zusammenstellungen bei Beler, U.: Zur Anwendung heuristischer Entscheidungsmethoden bei der Bestimmung eines Konsumprogramms, a.a.O. und Imboden, C./Leibundgut, A./Siegenthaler, P.: Klassifikation heuristischer Prinzipien, a.a.O.

eindeutige Empfehlungen für die Modellentwicklung geben. Durch die Nutzung der Erfahrungen anderer kann der Problemlöser seinen eigenen Lernprozess abkürzen und den erforderlichen Entwicklungsaufwand senken.

Während es in anderen Bereichen, in denen komplexe Systeme zu entwickeln sind,¹⁾ bereits seit einiger Zeit eine intensive Diskussion von Entwurfheuristiken gibt, sind entsprechende Bestrebungen für den Entwurf von Planungsmodellen noch relativ neu und notwendigerweise wenig ausgeprägt.²⁾ Dabei sind zwei Vorgehensweisen zu beobachten: Zum einen stellen Autoren ihre subjektiven Erfahrungen bei der Lösung spezieller Probleme dar,³⁾ zum anderen wird versucht, aus theoretischen betriebswirtschaftlichen Überlegungen Thesen über die Eignung spezieller Modellstrukturen zu gewinnen. Einen Mittelweg verfolgt die Richtung, die mit Hilfe von Simulationsstudien alternative Modellstrukturen auf ihre Eignung überprüft und daraus Empfehlungen ableitet.⁴⁾

Die Investitionstheorie als eine mögliche Quelle spezieller heuristischer Prinzipien macht selbst nur wenig Anstrengungen, dem Problemlöser praktisch verwendbare Hilfestellungen zu bieten. Zum einen werden in der Literatur eine Reihe fertiger Modelle angeboten, wobei Fragen der Modellanpassung,

1) So etwa bei der Entwicklung von EDV-Systemen. Vgl. für viele Weckind, H.: Systemanalyse - Die Entwicklung von Anwendungssystemen für Datenverarbeitungsanlagen, 2. Auflage, München-Wien 1976

2) Vgl. etwa Müller-Werbach, H.: Entwurf von Input-Output-Modellen, a.a.O.

3) Vgl. etwa Stahlkreutz, P.: Strategien zur Implementierung von OR-gestützten Planungsmodellen in der Praxis, in: DMW 38. Jg. (1978), S. 39-50

4) Vgl. etwa Bey, R.P./Porter, R.B.: An Evaluation of Capital Budgeting Portfolio Models Using Simulated Data, in: TEE Vol. 23 (1977), S. 41-65 - Sundem, G.L.: Simplification in Capital Budgeting Models, Diss. Stanford University 1971 - derselbe, Evaluating Capital Budgeting Models in Simulated Environments, in: JOR Vol. 30 (1975), S. 977-992

der Datenstruktur und der Modelltechnologie für praktische Anwendungen zumeist offen bleiben. ¹⁾ Zum anderen führt die Investitionstheorie eine umfangreiche Diskussion über einzelne, keineswegs aber über alle Modellelemente und bestimmte Modellstrukturen. Im Mittelpunkt steht dabei die Abbildung des finanziellen Zielsystems, besonders die Eignung bestimmter finanzieller Vorteilskriterien, ²⁾ und die Erfassung risikobehafteter finanzieller Handlungskonsequenzen und Zielwirkungen. Im Vergleich dazu werden Fragen zum Beispiel der Definition der Handlungsalternativen, ³⁾ der Abbildung der Systembeziehungen ⁴⁾ und der Erfassung nicht-finanzieller Ziele und Handlungskonsequenzen ⁵⁾ nur selten behandelt. Die empirische Basis für die Ableitung spezieller heuristischer Prinzipien ist daher zur Zeit noch klein. Erhebliche Forschungsanstrengungen sind noch nötig, um ein umfassendes heuristisches Konstruktionskonzept abzuleiten, das nicht nur die Vielfalt möglicher Modellstrukturen aufzeigt, sondern auch Güteaussagen über einzelne Elemente macht. ⁶⁾

Im folgenden wird versucht, auf der Basis einer Literaturauswertung heuristische Regeln abzuleiten, die bei der Ent-

- 1) Vgl. als Ausnahmen von dieser Regel Wentzel, K./Scholz, M.; Integrierte Verkaufs-, Produktions- und Investitionsplanung, a.a.O. und Bumba, F.; Ein Modellsystem der Produktions- und Investitionsprogrammplanung, in: ZOR Bd. 21 (1977), S. B177-196
- 2) Zum Begriff vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 195
- 3) Vgl. Frischmuth, G.; Daten als Grundlage für Investitionsentscheidungen - Theoretische Anforderungen und praktische Möglichkeiten der Datenermittlung im Rahmen des Investitionspolitischen Entscheidungsprozesses, Berlin 1969, S. 40 ff
- 4) Vgl. Rosenberg, O.; Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Gesamtplanung, a.a.O.
- 5) Vgl. Bernardo, J.J./Lanser, H.P.; A Capital Budgeting Model with Subjective Criteria, in: JROA Vol. 12 (1977), S. 261-275 und Lee, S./Jeno, A.; Capital Budgeting for Multiple Objectives, a.a.O.
- 6) Zu der Problematik von Güteaussagen vgl. Abschnitt 6.3.5

wicklung von Entscheidungsmodellen zur Investitionsplanung hilfreich sein können. Es handelt sich dabei um einen ersten Versuch, inexacte Aussagen ¹⁾ zur Konstruktion von Investitionsplanungsmodellen zu gewinnen, um damit eine bestehende theoretische Lücke zu überbrücken. Zunächst werden formale Prinzipien, dann die speziell auf die Inhalte der Investitionsplanung zugeschnittenen Regeln beschrieben.

Regel 1: Versuche, den zu planenden Bereich durch ein Modell der linearen Programmierung zu beschreiben! ²⁾

Die Darstellungstechnik der linearen Programmierung ist im Operations Research zur modellmäßigen Beschreibung von Entscheidungsproblemen allgemein üblich. Sie ist exakter als etwa die Darstellung in Flußdiagrammen und kompakter sowie übersichtlicher als ein (Programm-)Ablaufplan oder ein Entscheidungsbaum.

Regel 1 bedeutet zunächst nur, "daß versucht wird, den zu planenden Bereich durch ein LP-Modell zu beschreiben." ³⁾ Sie bedeutet aber nicht automatisch, daß auch ein Lösungsverfahren der linearen Programmierung verwendet werden soll. Mit Ausnahme einiger Modelle des "Portfolio-Selection" sind in diesem Sinne alle bekannten Investitionsprogrammierungsmodelle formal LP-Modelle.

Regel 2: Versuche, nichtlineare Beziehungen in linearen Beziehungen zu erfassen!

Bei deterministischen Investitionsprogrammierungsmodellen

- 1) Vgl. zu diesem Ansatz Köhler, R.; "Inexacte Methoden" in der Betriebswirtschaftslehre, in: Ulrich, H. (Hrsg.); Zum Praxisbezug der Betriebswirtschaftslehre in wissenschaftstheoretischer Sicht, Bern-Stuttgart 1976, S. 153-169
- 2) Vgl. Stahlrecht, P.; Strategien zur Implementierung von OR-gestützten Planungsmodellen in der Praxis, a.a.O., S. 41
- 3) Eberdorf

können nichtlineare Beziehungen speziell im Produktions- und Absatzbereich auftreten. ¹⁾ Lösungsverfahren für nichtlineare Planungsmodelle befinden sich noch im Anfangsstadium ihrer Entwicklung, ²⁾ "so daß auch noch keine kommerzielle Software entwickelt werden konnte." ³⁾ Es muß daher versucht werden Nichtlinearitäten der Zielfunktion oder der Systembeziehungen in linearen Funktionen abzubilden. Dies ist bei den Systembeziehungen in den meisten Fällen problemlos durch "stückweise Linearisierung" möglich, ⁴⁾ bei nichtlinearen Zielfunktionen wie etwa Nutzenfunktionen hingegen oft schwierig. Allerdings erhöht jede Linearisierung die Zahl der ganzahligen Variablen und der Nebenbedingungen und erschwert damit die Lösung des Planungsmodells. ⁵⁾

Regel 3: Versuche, die Elemente des Zielsystems nacheinander zu beachten und setze für jedes Ziel minimale Zielerreichungsgrade!

Die Lösungsverfahren der "Ziel-Programmierung" (Goal Programming) sind trotz erheblicher Forschungsanstrengungen noch nicht ausgereift. ⁶⁾ Auf der anderen Seite hat sich in der Betriebswirtschaftslehre allgemein wie auch in der Investitionstheorie im speziellen "in zunehmendem Maße die

- 1) Vgl. dazu Gutenberg, E.; Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre - Band III: Die Finanzen, a.a.O., S. 370 f
- 2) Einen Überblick über die Verfahren gibt Fromm, A.; Nichtlineare Optimierungsmodelle - Ausgewählte Ansätze, Kritik und Anwendung, Frankfurt/M. 1975
- 3) Steinbecke, V./Seifert, O./Ohse, D.; Lineare Planungsmodelle im praktischen Einsatz, a.a.O., S. 20. Vgl. auch Warren, A.D./Gasdon, I.S.; The Status of Nonlinear Programming, in: OR Vol. 27 (1979), S. 431-456
- 4) Vgl. Stahlnecht, P.; Strategien zur Implementierung von OR-gestützten Planungsmodellen in der Praxis, a.a.O., S. 43 f
- 5) Zur Vorgehensweise bei der Linearisierung vergleiche für viele Killger, W.; Optimale Produktions- und Absatzplanung, a.a.O., S. 248 ff
- 6) Einen Überblick über die Verfahren gibt Lee, S.; Goal Programming for Decision Analysis, Philadelphia 1972

überzeugung durchgesetzt, daß monistische Zielvorstellungen immer mehr durch pluralistische Zielvorstellungen abgelöst werden." ¹⁾ Als Ausweg bietet sich die lexikographische Behandlung mehrerer Zielgrößen an. Bei diesem Verfahren gibt der Investor vor Beginn der Problemlösung eine ordinale Präferenzordnung und für jedes Ziel einen Minimumstandard an. ²⁾ "Steht die Rangordnung der Ziele fest, so entscheidet das ranghöchste Ziel allein über den Wert der vorgeschlagenen Alternativen" ³⁾ - vorausgesetzt das ermittelte Programm erfüllt bei allen anderen Zielen den Minimumstandard. Nur die ranghöchste Zielsetzung ist also in der zu extremierenden Zielfunktion des Modells abzubilden; alle weiteren Elemente des Zielsystems werden in zu befriedigenden Nebenbedingungen erfaßt. ⁴⁾

Nach Lösung dieses ersten Modells wird der Investor befragt, ob das ermittelte Programm seinen (impliziten) Zielvorstellungen entspricht. Ist das nicht der Fall, wird erneut eine Präferenzordnung innerhalb des Zielsystems und für jedes Element ein unterer Grenzwert festgelegt und das Verfahren wiederholt.

Statt in einem Planungsschritt alle Elemente des Zielsystems konkurrierend zu extremieren, konfrontiert man also den Entscheidungsträger in einem iterativen Planungsprozeß mit mehreren Problemlösungen, zwischen denen er zu wählen hat beziehungsweise für die er seine Präferenzvorstellungen bekannt-

- 1) Zimmermann, H.-V.; Zur Darstellung und Lösung schlechtstrukturierter Entscheidungsprobleme, in: WISU 8. Jg. (1979), S. 72-77, hier S. 76
- 2) Vgl. Imboden, C./Leibundgut, A./Siegenthaler, P.; Klassifikation heuristischer Prinzipien, a.a.O., S. 321
- 3) Klein, H.-K.; Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 133
- 4) Vgl. zu einem solchen Vorgehen in einem praktisch eingesetzten Entscheidungsmodell Hamilton, W.F./Moses, M.A.; An Optimization Model for Corporate Planning, a.a.O., S. 280 ff

zugeben hat. Diesen Vorgang wiederholt man, bis keine besseren Lösungen mehr zu finden sind. ¹⁾

Unter der Voraussetzung, daß es sich um quantifizierbare Zielsetzungen handelt, kann auf diese Weise ein Modell mit mehreren Zielen aufgestellt und gelöst werden, ohne daß ein Goal-Programmings-Ansatz verwendet werden muß. ²⁾ Das Erreichen des absoluten Optimums garantiert dieses heuristische Vorgehen allerdings nicht.

Regel 4: Versuche, die Handlungsmöglichkeiten, die nur ganzzahlig erfaßt werden können, in eindeutig abgegrenzten Modellteilen zu erfassen.

Ganzzahligkeit wird in der Investitionsprogrammplanung zumindestens für die Variablen der Realinvestitionen gefordert. Durch diese Forderung entstehen erhebliche Lösungstechnische Probleme. ³⁾ Diese können reduziert werden, wenn es gelingt, durch Problemzerlegung und -umformulierung ⁴⁾ die ganzzahligen Variablen in separaten Modellteilen zu isolieren.

Zur Lösung der ganzzahligen Modellteile können dann der Problemstruktur speziell angepaßte, algorithmische oder heuristische Lösungstechniken verwendet werden, während die kontinuierlichen Teilmodelle zum Beispiel durch die Standardalgorithmen der Linearen Optimierung gelöst werden. Durch

- 1) Vgl. Zimmermann, H.-J.: Zur Darstellung und Lösung schlecht-strukturierter Entscheidungsprobleme, a.a.O., S. 76
- 2) Das lexikographische Vorgehen wird technisch dadurch erleichtert, daß kommerzielle Optimierungssoftware die Möglichkeit bietet, ohne erneute Durchrechnung des ganzen Modells Zielfunktionen auszutauschen und Nebenbedingungen neu einzuführen.
- 3) Vgl. Abschnitt 2.3.2
- 4) Vgl. zur Umformulierung eines Investitionsprogrammierungsmodells Broyles, J.E.: Compact Formulation of Mathematical Programs for Financial Planning Problems, in: OR Quarterly Vol. 27 (1976), S. 885-893

Dekompositionsverfahren werden die kontinuierlichen und ganzzahligen Modellteile miteinander verbunden. ¹⁾

Zusätzlich hat sich in der Praxis bei der Behandlung gemischt-ganzzahliger Problemstellungen folgende Vorgehensweise bewährt: "Auf jeden Fall sollte zunächst die optimale Lösung ohne Berücksichtigung der Ganzzahligkeit ermittelt und genau analysiert werden. Anschließend ist wie folgt zu verfahren:

a. Bei Modellen der allgemeinen Ganzzahligkeit kann eine brauchbare, quasi-optimale Lösung häufig durch Runden oder durch Schätzen gefunden werden. Dabei ist eine genaue Kenntnis des zugrunde liegenden praktischen Problems unabdingbare Voraussetzung. ...

b. Bei Modellen mit 0/1-Ganzzahligkeit ist die Anzahl der theoretisch denkbaren Fälle durch 'Setzen von Variablen' (Wertzuweisung) so weit wie möglich zu reduzieren. ²⁾

Auch für solche Verfahrensweisen bei der Modelllösung, die durch heuristische Überlegungen durchaus effizient gestaltet werden können, ³⁾ ist eine Separierung des Modells in rein ganzzahlige und kontinuierliche Teilmodelle vorteilhaft, da zum Beispiel Wertzuweisungen dann einfach durch Parametrisierung der Nebenbedingungen vorgenommen werden können und

- 1) Zu einem solchen Vorgehen vgl. Biehnahn, J./Liedmann, H.P.: Die numerische Behandlung eines gemischt-ganzzahligen Investitionsproblems mit exakten und heuristischen Methoden, a.a.O. und Liedmann, H.P./Biehnahn, J.: Zur Anwendung von heuristischen Methoden bei der Optimierung eines gemischt-ganzzahligen und separierbaren Investitionsproblems, a.a.O.
- 2) Stahlknecht, P.: Strategien zur Implementierung von OR-gestützten Planungsmodellen in der Praxis, a.a.O., S. 45
- 3) Vgl. etwa van Hultst, W.G./van Lieshout, J.Th.: Investment/Financial Planning with endogenous Lifetimes: A Heuristic Approach to Mixed-Integer Programming, a.a.O. Über ein heuristisches Vorgehen berichten aus der Praxis Mentzel, K./Scholz, M.: Integrierte Verkaufs-, Produktions- und Investitionsplanung, a.a.O., S. 13 Über schlechte Erfahrungen mit einfacher Rundung der nicht ganzzahligen Variablen berichten Hamilton, W.F./Moses, M.A.: An Optimization Model for Corporate Financial Planning, a.a.O., S. 689

der kontinuierliche Teil somit nicht jedes Mal erneut gelöst werden muß.

Regel 5: Sind bei der Investitionsplanung stochastische Einfluggrößen (= Handlungskonsequenzen) zu beachten, so ist eine Kombination von stochastischem Simulationsmodell und deterministischem Optimierungsmodell sinnvoller als die Konstruktion eines stochastischen Optimierungsmodells.

Die Investitionstheorie hat sehr große Anstrengungen unternommen, um auch für die Programmplanung bei Risiko Optimierungsmodelle zu entwickeln. Ergebnisse dieser Bestrebungen sind zum Beispiel die Verfahren der Parametrischen und der Stochastischen Programmierung sowie die Modelle der Portfolio-Auswahl und der Flexiblen Planung.¹⁾

Zu praktikablen Lösungsansätzen haben diese Bestrebungen bisher noch nicht geführt. So ist bisher weder eine befriedigende Formulierung der Zielfunktion noch eine der Nebenbedingungen für Optimierungsmodelle gelungen. ²⁾ Zudem übersteigt der Informationsbeschaffungs- und Informationsauswertungsaufwand alle ökonomisch vertretbaren Größen.³⁾ In der Praxis wird zur Berücksichtigung des Risikos in der Investitionsplanung zunehmend die stochastische Computersimulation

- 1) Zur Darstellung dieser Ansätze vgl. Blohm, H./Jäger, K.; Investition, a.a.O., S. 255 ff - Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 269 ff - Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 397 ff - Kern, W.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 339 ff
- 2) Vgl. etwa Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 443 f und Born, A.; Entscheidungsmodelle zur Investitionsplanung - Ein Beitrag zur Konzeption der "Flexiblen" Planung, Wiesbaden 1976, insbesondere S. 107 ff
- 3) Vgl. etwa Bökel, U.; Die Berücksichtigung des Risikos in Modellen zur Investitionsprogrammplanung unter Einbeziehung neuerer Entwicklungen; Unveröffentlichte Diplomarbeit Technische Universität Berlin (Prof. Dr. L. Kruschwitz) 1979, insbesondere S. 44 und Born, A.; Entscheidungsmodelle zur Investitionsplanung - Ein Beitrag zur Konzeption der "Flexiblen" Planung, Wiesbaden 1976, S. 85 ff

lation in der Form der Risikoanalyse verwendet.¹⁾ Dieses, von Hertz entwickelte Verfahren²⁾ wurde ursprünglich für Investitionseinzelentscheidungen konzipiert, ist aber von seiner Grundidee her auch für die Programmplanung verwendbar.

Im ersten Schritt dieses Verfahrens werden die Elemente des verwendeten Entscheidungsmodells bestimmt, deren Ausprägungen risikobehaftet erscheinen.³⁾ Für jede dieser unsicheren Einfluggrößen werden im nächsten Schritt vom Entscheidungsträger Wahrscheinlichkeitsverteilungen angegeben,⁴⁾ die ausdrücken, für wie glaubwürdig ihm das Eintreten bestimmter Zukunftslagen erscheint.⁵⁾ Im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation⁶⁾ auf der Basis dieser subjektiven Glaubwürdigkeitsziffern wird dann für jede Einfluggröße ein ganz bestimmter Wert festgelegt. Für die so eindeutig bestimmten Wertekonstellationen wird jeweils das deterministisch formulierte Entscheidungsmodell gelöst. Durch häufige Wiederholung der Simulation und entsprechend häufiger Durchrechnung des Ent-

- 1) Vgl. Abschnitt 3 und Perltitz, M.; Risikoanalyse für Investitionsentscheidungen, in: ZfBf-Kontaktstudium 31. Jg. (1979), S. 41-49, hier S. 41f sowie van Vleck, R.W.; Capital Expenditure Practises in Large American Corporations, a.a.O., S. 168 ff
- 2) Vgl. Hertz, D.B.; Risk Analysis in Capital Investment, in: HBR Vol. 42 (1964), S. 95-106
- 3) Zu den Schritten der Risikoanalyse vgl. Blohm, H./Jäger, K.; Investition, a.a.O., S. 207 f und Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 252 ff
- 4) Zum "Wahrscheinlichkeitsbegriff" in der Betriebswirtschaftslehre vgl. Schneider, D.; Maßbarkeitsstufen subjektiver Wahrscheinlichkeiten als Erscheinungsformen der Ungewissheit, in: ZfBf 31. Jg. (1979), S. 89-122
- 5) Handelt es sich um voneinander abhängige Einfluggrößen, so ist diese Abhängigkeit in einer "stochastischen" Funktion zu erfassen. Der Wert der abhängigen Variablen ergibt sich dann eindeutig aus dem zufällig bestimmten Wert der unabhängigen Variablen und dem zufällig bestimmten Funktionsverlauf. Vgl. Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 257 ff
- 6) Zum Begriff vgl. Mertens, P.; Simulation, Stuttgart 1969

scheidungsmodells ergibt sich eine Verteilung der Zielgröße und - bei Programmentscheidungen - eine Verteilung der Entscheidungsvariablen.

Während bei Investitionseinzeltentscheidungen das Verhalten einer Investitionsalternativen bei unterschiedlichen Umweltzuständen untersucht wird, untersucht die Risikoanalyse bei Programmentscheidungen das Verhalten jeweils angepaßter, das heißt für die jeweilige Situation optimierter Investitionsprogramme. Diese "automatischen Anpassungsmaßnahmen" erschweren die Brauchbarkeit der Risikosimulation für Programmentscheidungen, da die einzelnen Handlungsmöglichkeiten jeweils andere Ausprägungen annehmen und somit eine eindeutige Handlungsempfehlung aus der Modellrechnung nicht abgeleitet werden kann. Durch heuristische Interpretation der Verteilung der Entscheidungsvariablen kann dieser Mangel zumindestens teilweise behoben werden.

In einem solchen heuristischen Schritt werden die Investitionsprogramme bestimmt, die im "Schnitt aller Umweltsituationen" am besten abgeschnitten haben. ¹⁾ Um aus dieser Menge das endgültig beste Investitionsprogramm auszuwählen, ist für alle guten Programme eine erneute Risikoanalyse durchzuführen. ²⁾

Folgende Vorteile hat eine solche heuristische Kombination aus Risikoanalyse und deterministisch-formuliertem Optimierungsmodell:

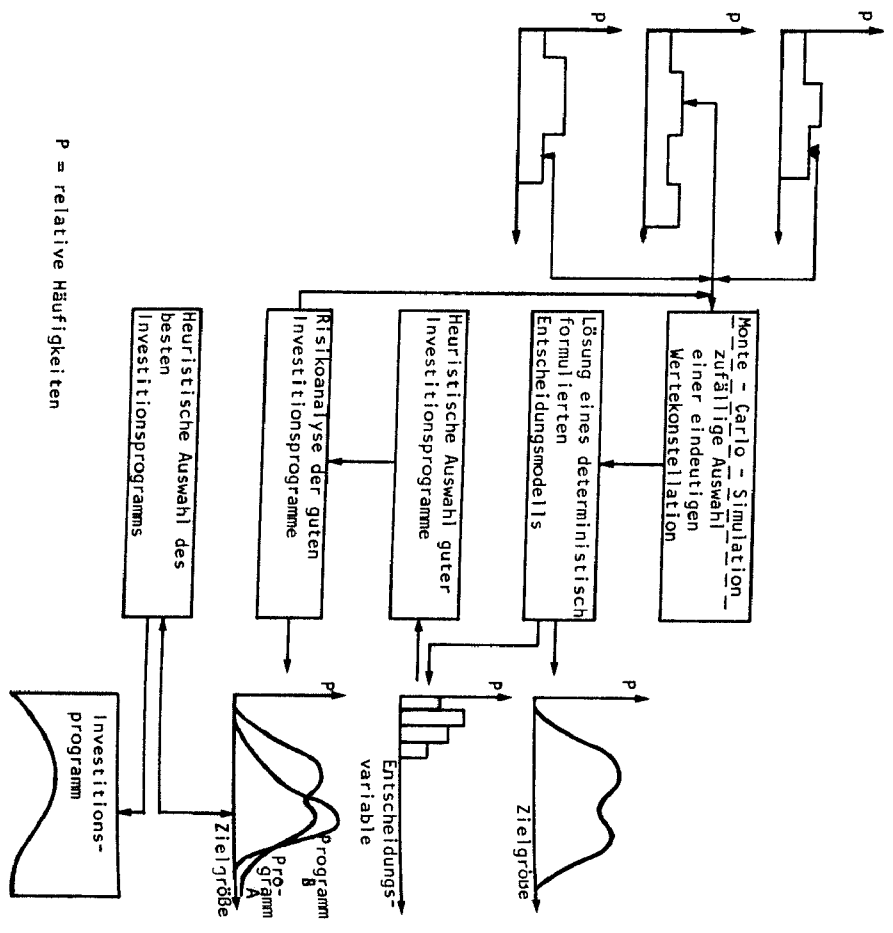
- 1) Zu den verschiedenen heuristischen Auswahlregeln vgl. Salazar, R.C./Sen, S.K.; A Simulation Model of Capital Budgeting under Uncertainty, in: MS Vol. 15 (1968), S. B161-169 und Eckel, U.; Die Berücksichtigung des Risikos in Modellen zur Investitionsprogrammplanung unter Einbeziehung neuerer Entwicklungen, a.a.O., S. 93 ff
- 2) Zu den Schritten des Verfahrens vgl. ebendort und die Darstellung bei Blom, H./Hyder, K.; Investition, a.a.O., S. 264 ff

1. Während Optimierungsmodelle bei Unsicherheit eindimensionale Zielfunktionen (zumeist den Erwartungswert des Geldnutzens oder des Risikonutzens) maximieren und dabei eine Reihe einengender Prämissen machen müssen, kann sich der Investor bei Verwendung der Risikoanalyse auf die vollständige Ergebnisverteilung stützen. ¹⁾ Damit ist es nicht notwendig, eine bekannte, quadratische Risikonutzenfunktion oder Risikonutralität des Investors zu unterstellen, sondern der Entscheidungsträger kann allein durch eine intuitive Analyse der Ergebnisverteilung eine sinnvolle Entscheidung ableiten. ²⁾

2. Stochastische Optimierungsmodelle stellen sehr hohe Anforderungen an die zur Verfügung stehenden Informationen, die Form der im Modell erfaßten Systembeziehungen und an die Handlungsmöglichkeiten. So unterstellen etwa Chance-Constrained-Programming-Modelle in aller Regel, daß die Einflußgrößen normalverteilt sind, die Systembeziehungen linear sind und das keine Ganzzahligkeitsbedingungen zu beachten sind. ³⁾ Simulationsmodelle stellen hingegen realistische Informationsanforderungen an den Entscheidungsträger. ⁴⁾ So muß der Investor nicht, wie etwa bei den Ansätzen der Flexiblen Planung, eine Fülle von Modellparametern und zugehörigen 'Wahrscheinlichkeiten' eindeutig

- 1) Vgl. Born, A.; Entscheidungsmodelle zur Investitionsplanung, a.a.O., S. 91 ff und S. 116 ff und Eckel, U.; Die Berücksichtigung des Risikos in Modellen zur Investitionsprogrammplanung unter Einbeziehung neuerer Entwicklungen, a.a.O., S. 73 f
- 2) Vgl. dazu Eisenführ, F.; Die Wissenschaft vom vernünftigen Handeln, a.a.O., S. 435 f
Vgl. auch Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 432 ff
- 3) Vgl. aber Hyder, K./Streitferdt, J.; Die Bestimmung optimaler Portefeuilles unter Ganzzahligkeitsbedingungen, in: ZOR Band 16 (1972), S. 89-113
- 4) Vgl. Born, A.; Entscheidungsmodelle zur Investitionsplanung, a.a.O., S. 135

Für möglich erachtete Streubereiche der Modellelemente mit subjektiven Glaubwürdigkeitsziffern



P = relative Häufigkeiten

Abb. 32: Schema der Lösung eines Investitionsprogrammplanungsproblems durch Kombination der Risikoanalyse mit einem deterministischen Optimierungsmodell und einer heuristischen Auswahlregel

schätzen, sondern er kann sich mit der Angabe von Streubereichen und Glaubwürdigkeitsziffern beziehungsweise von markanten Punkten für die Verteilungen der unsicheren Einfluggrößen begnügen.¹⁾

3. Das kombinierte Verfahren stellt insgesamt sehr viel geringere Anforderungen an die verfügbare Modelltechnologie. So ist das deterministische Optimierungsmodell sehr viel kleiner als zum Beispiel ein Modell der flexiblen Planung auf der Basis eines Zustandsbaums. 2) Wird dieser Baum durch Aggregation von alternativen Umweltzuständen vereinfacht, so wird dadurch zwar die Modellgröße gesenkt, die Lösung aber nicht erleichtert, da effiziente Lösungsverfahren des Chance-Constrained-Programmings oder der Stochastischen Dynamischen Optimierung fehlen. 3) Im Vergleich dazu sind die technischen Anforderungen der Risikoanalyse gering.

Da die sogenannte Optimalplanungsmodelle in aller Regel ebenfalls nicht in der Lage sind, die wirkliche Optimallösung zu bestimmen, ja oft noch nicht einmal zulässige Lösungen des Problems ermitteln können, 4) ist ein entsprechender Nachteil des heuristischen Vorgehens nicht vorhanden.

Regel 6: Versuche durch "Pauschalannahmen über die Welt des Investors"⁵⁾ das Entscheidungsmodell zu vereinfachen!

Die Investitionstheorie versucht durch die Formulierung von

1) Zur Praktikabilität beider Verfahren vergleiche Frischmuth, G.; Daten als Grundlage für Investitionsentscheidungen, a.a.O., S. 120 ff
 2) Zum Begriff vergleiche Hav, H.; Investitionstheorie, a.a.O., S. 168 ff
 3) Vgl. Eckel, U.; Die Berücksichtigung des Risikos in Modellen zur Investitionsprogrammplanung unter Einbeziehung neuerer Entwicklungen, a.a.O., S. 59 ff und Kramm, R.; Sequentielles Chance-Constrained-Programmings als Instrument der flexiblen Planung, Meisenheim 1977
 4) Vgl. Born, A.; Entscheidungsmodelle zur Investitionsplanung, a.a.O., S. 116
 5) Zum Begriff vergleiche Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 55

Partialmodellen die daten- und rechen-technischen Schwierigkeiten zu umgehen, die bei der Formulierung von Totalmodellen entstehen.¹⁾ Ein Partialmodell liegt vor, wenn aus ökonomischen Gründen statt einer technisch möglichen, detaillierten Abbildung über einzelne Modellelemente pauschale Annahmen gemacht werden.²⁾

Diese spezielle heuristische Regel ist eine Konkretisierung der allgemeinen Abstraktionsregel, die bei den "geplanten" Vereinfachungen die speziellen Erkenntnisse der Investitionstheorie nutzt. Entsprechend der allgemeinen Regel sind Vereinfachungen möglich:

- (1) Bei der Abbildung der Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten;
- (2) Bei der Erfassung des (finanziellen) Zielsystems des Investors;
- (3) Bei den Annahmen über die Handlungskonsequenzen der Entscheidungsalternativen;

1) Vgl. Schneider, D.: Investition und Finanzierung, S. 192 f

2) Vgl. im Unterschied dazu ebendort, S. 194 (Fußnote 1 der Gegenseite). Eine weitere, auch andere Modellelemente berücksichtigende Abgrenzung zwischen Total- und Partialmodell wählen Franke, G./Laux, H.: Die Extremalmodelle, in: ZfBf 20. Jg. (1968), S. 740-759, hier S. 741: "Das Totalmodell berücksichtigt explizit sämtliche einen Unternehmen zur Verfügung stehenden Allokations- und Beschaffungsmöglichkeiten, die zwischen diesen bestehenden Interdependenzen und sonstige Beschränkungen (zum Beispiel Obergrenzen bestimmter Aktivitätsniveaus) und Verwendungsmöglichkeiten ausdrücklich ein. Den übrigen Restriktionen trägt es, wenn überhaupt, dadurch Rechnung, daß es Opportunitätskostensätze in die Zielfunktion einbezieht."
Helliwig, K.: Die approximative Bestimmung optimaler Investitionsprogramme mit Hilfe der Kapitalwertmethode, in: ZfBf 28. Jg. (1976), S. 166-171, hier S. 166 definiert den Unterschied wie folgt: "Der grundlegende Unterschied beider Vorgehensweisen besteht darin, daß bei der Simultanplanung sowohl das Entscheidungsfeld als auch die Zielsetzung des Investors explizit berücksichtigt werden, wohingegen bei der Partialplanung diese Berücksichtigung lediglich indirekt durch Vorgabe geeigneter Kalkulationszinsfüße erfolgt."

- (4) Bei der Abgrenzung des Planungs- und Ergebnishorizontes;
- (5) Bei der Abbildung der Systembeziehungen und Restriktionen des Entscheidungsfeldes.

Zu (1): Eine Möglichkeit zur Bildung eines finanzwirtschaftlichen Partialmodells ist die Zerlegung des Aktionfeldes in detailliert erfaßte und pauschal abgebildete Projekte. "Ein finanzwirtschaftliches Partialmodell liegt vor, wenn für die Zeit innerhalb des Planungszeitraums Pauschalannahmen über einzelne Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten erfolgen."¹⁾ "Partialmodelle mit unvollkommenem Kapitalmarkt" bilden nur einige Investitions- beziehungsweise Finanzierungsmöglichkeiten detailliert ab, die übrigen Handlungsmöglichkeiten werden in einer "Ergänzungsinvestition zum Habenzins" beziehungsweise einem "Ergänzungskredit zum Sollzins" erfaßt.²⁾ Wird unterstellt, daß Soll- und Habenzins identisch sind, so spricht die Investitionstheorie von einem "Partialmodell mit vollkommenem Kapitalmarkt."³⁾ Eine Verfeinerung dieser üblichen Pauschalannahmen liegt vor, wenn unterstellt wird, daß die Soll- und Habenzinsen "von der Menge der nachgefragten (angebotenen) Gelder abhängen."⁴⁾

Eine ideale, total konsistente Aggregation der Handlungsmöglichkeiten des Totalmodells im Partialmodell führt bei der Lösung beider Modelle zu gleichen Werten der Dualwerte und - nach Disaggregation - zu gleichen Handlungsempfehlungen.⁵⁾

- 1) Schneider, D.: Investition und Finanzierung, S. 194
- 2) Vgl. Kuschwitz, L.: Investitionsrechnung, S. 53 ff
- 3) Vgl. Schneider, D.: Investition und Finanzierung, S. 195 f
- 4) Ebendort. Vgl. auch Kammerdiener, R.: Weiterentwicklung des Systems der allgemeinen Rechenregeln von Kuschwitz zur Erwerb- und Ertrahmensummlung, a.a.O.
- 5) Vgl. Ijiri, Y.: Fundamentals Queries in Aggregation Theory, a.a.O. and Raime, P.S./Flavell, R.B./Salkin, G.R.: Determining appropriate levels of data aggregation in a linear programming model, a.a.O.

Um dieses Ziel zu erreichen, ist in vielen Fällen eine weitere Differenzierung der Pauschalannahmen sinnvoll. Das führt zur Aggregation der realen Handlungsmöglichkeiten in mehreren, unterschiedlich detailliert im Modell abgebildeten Pauschalmaßnahmen. ¹⁾ Bei dieser Zusammenfassung können ökonomische Überlegungen zu den gemeinsamen Eigenschaften von Handlungsalternativen ebenso nützlich sein wie statistische Instrumente (zum Beispiel die Clusteranalyse). "The most appropriate level of details for the model is clearly dependend on the proposed uses and purposes of the model. ... an important factor in the choice of aggregation is the reliability of the dual values as 'signpost' to the most promising plans." ²⁾

Ein weiterer Weg zur Beschränkung des Modellumfangs durch Vereinfachung des Aktionsfeldes ist die Hintereinanderschaltung unterschiedlicher Partialmodelle. "Aufgabe der (vorgelegerten - Anmerkung des Verfassers) Partialmodelle ist die Voroptimierung von bestimmten Primal- oder auch Dualvariablen des Hauptmodells, die diesem dann in Form von Eingabedaten zur Verfügung gestellt werden." ³⁾ Ein solches Vorgehen kann die Anzahl der im Hauptmodell zu erfassenden Handlungsmöglichkeiten stark reduzieren. ⁴⁾

- 1) Vgl. Raibe, P.S./Flavell, R.B./Salikin, G.R.; Determining appropriate levels of data aggregation in a linear programming model, a.a.O. und Schaefer, A.-W.; Produktionsplanung auf der Grundlage einer Datenbank Planung Systems - A Production Application, a.a.O., S. 112 ff
- 2) Raibe, P.S./Flavell, R.B./Salikin, G.R.; ebendort, S. 27
- 3) Baan, W.; Ein zweistufiger Planungsansatz der Investitionsrechnung, a.a.O., S. 34
- 4) Vgl. ebendort, S. 51 ff. Dort wird durch Voroptimierung der Nutzungsdaten in einem Modell des Jacob-Type der Modellumfang um ca. 50 % reduziert. Zur Voroptimierung der ganzzahligen Variablen in einem Programmplanungsproblem vgl. auch Blethahn, J./Idemann, H.P.; Die numerische Behandlung eines gemischt-ganzzahligen Investitionsproblems mit heuristischen Methoden, a.a.O. und Idemann, H.P./Blethahn, J.; Zur Anwendung von heuristischen Methoden bei der Optimierung eines gemischt-ganzzahligen und separierbaren Investitionsproblems, in: ZfB 43. Jg. (1973), S. 351-372. Vgl. auch van Hultst, W.G./Van Lieshout, J.Th.; Investment/Financial Planning with endogenous lifetimes: A heuristic approach to mixed-integer programming, in: RAIRO Vol. 11 (1977), S. 85-101

Zu (2): Anhand der Pauschalannahmen über das finanzielle Zielsystem des Investors unterscheidet Dieter Schneider zwei Typen von finanzwirtschaftlichen Partialmodellen: "Kombinatorische Partialmodelle wählen Pauschalannahmen über einige Handlungsmöglichkeiten, bestimmen aber die Zielgrößen unmittelbar: Sie gehen von Vermögens-, Einkommens- oder Wohlstandsstreben aus." ¹⁾ Demgegenüber maximieren klassische Partialmodelle finanzwirtschaftliche Vorteilskriterien wie den Kapitalwert, "die als Ersatzzielgrößen für die ursprünglichen Ziele dienen." ²⁾

Die Eignung dieser Ersatzzielgrößen wird in der Literatur ausführlich diskutiert. ³⁾ Diese Diskussion versucht, auf logisch-analytischen Wege zu klären, welche Zielgrößen bei welchen Entscheidungsfeldern zur Ableitung optimaler Entscheidungen geeignet sind. Mit der logisch-analytischen Methode werden also die denkbaren Zielgrößen in zwei Klassen eingeteilt, nämlich in die Klasse der zielkonformen und die Klasse der nicht-zielkonformen Modellierungen des Zielsystems.

- 1) Schneider D.; Investition und Finanzierung, S. 195
 - 2) Ebendort
 - 3) Vgl. für viele Siegel, T.; Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen, Diskussionspapier Nr. 24 des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Berlin, Berlin 1976, S. 3-20
- Vergleiche zwischen Ersatz- und Ursprungszielsetzungen bei komplexen Modellstrukturen finden sich bei Blumentrath, U.; Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., S. 270 ff - Schweim, J.; Integrierte Unternehmensplanung, a.a.O., S. 69 ff - Waldmann, J.; Optimale Unternehmensfinanzierung - Modelle zur integrierten Planung des Finanzierungs- und Leistungsbereiches, Wiesbaden 1972, S. 30 ff - Huber, P.; Zur Problematik der Formulierung entnahmestromorientierter Zielfunktionen von integrierten Investitions-, Finanzierungs- und Produktionsplanungsmodellen, Dissertation Wien 1977
- Vgl. auch Bitz, M.; Äquivalente Zielkonzepte für Modelle zur simultanen Investitions- und Finanzplanung, in: ZfB 28. Jg. (1976), S. 485-501 und Adam, D.; Äquivalente Zielfunktionen in Modellen zur simultanen Investitions- und Finanzplanung, in: WiSt 8. Jg. (1979), S. 179-183, 233-237 und 285-287

Damit bleibt ungeklärt, wie groß das Risiko von nicht-optimalen Entscheidungen bei Verwendung nicht-zielkonformer Modellierungen in realen Problemstellungen ist und welche Reduktion des Zielerfüllungsgrades (unter Einschluss der Planungsaufwendungen) dadurch bewirkt wird.¹⁾ Erste Untersuchungen dieser Fragestellung legen die Hypothese nahe, daß die Maximierung "guter" finanzieller Ersatzzielgrößen (etwa des Barkapitalwertes) nur selten zu anderen Ergebnissen führt wie die Verfolgung des Vermögens-, Einkommens- oder Wohlstandsstrebens und das zudem die Reduktion des Zielerfüllungsgrades unbedeutend ist.²⁾

Zu (3): Eine Reihe von - speziell amerikanischen³⁾ - Autoren befaßt sich mit der Eignung von klassischen Partialmodellen für Entscheidungen bei unsicheren Handlungskonsequenzen. So untersuchen Sundem⁴⁾ und Bey/Porter⁵⁾ die Eignung des Barkapitalwertes zur Ableitung zielentsprechender Investitionsentscheidungen im Vergleich zu verschiedenen Programmplanungsmodellen auf der Basis der stochastischen Programmierung und

- 1) Vgl. zu einer solchen Fragestellung Kruschwitz, I./Fischer, J.; Untersuchungen über Voraussetzungen, Wahrscheinlichkeit und Bedeutung von Konflikten zwischen den Zielsetzungen "Endwert- und Entnahmemaximierung" in der Investitionsplanung, Diskussionspapier Nr. 33 des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Berlin, Berlin 1977
- 2) Vgl. ebendort und die Teile 7 und 8 dieser Arbeit
- 3) Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Kategorien der deutschen Investitionstheorie, etwa der strikten Trennung zwischen Einzel- und Programmentscheidungen, nur schwer zu interpretieren.
- 4) Vgl. Sundem, G.L.; Simplification in Capital Budgeting Models, a.a.O. - derselbe, Analysis of Simplification in Capital Budgeting Models Using a Time-State Preference Metric, in: The Accounting Review Vol. 48 (1974), S. 306-320 - derselbe, Evaluating Capital Budgeting Models in Simulated Environments, a.a.O.
- 5) Vgl. Bey, R.P./Porter, R.B.; An Evaluation of Capital Budgeting Portfolio Models Using Simulated Data, a.a.O.

der Portfoliotheorie.¹⁾ "The performance of the NPV model (net present value - Anmerkung des Verfassers) ... is as expected. As ... the environment becomes more uncertain, the performance of the NPV model declines."²⁾ Unter Beachtung der geringen Planungskosten des Kapitalwertmodells, "there is a high probability that it would be most cost/benefit efficient in low uncertainty environments."³⁾ Diese Effizienz eines Kapitalwertmodells auf der Basis von Erwartungswerten der Zahlungsreihen kann durch gleichzeitige Berücksichtigung von Mindestanforderungen an die Amortisationszeit verbessert werden.⁴⁾ "Die Methode, eine Investitionsentscheidung an Hand des Kapitalwertes unter gleichzeitiger Beachtung von Mindestanforderungen an die Amortisationsdauer zu fällen, ist der Kapitalwertmethode deutlich überlegen, wenn man davon ausgeht, daß die ursprünglichen Investitionen zum Teil durch wirtschaftlich leistungsfähigere Anlagen abgelöst werden."⁵⁾

- 1) Vgl. Sundem, G.L.; Simplification in Capital Budgeting Models, a.a.O., S. 12-142 und Bey, R.P./Porter, R.B.; An Evaluation of Capital Budgeting Portfolio Models Using Simulated Data, a.a.O., S. 42
 - 2) Sundem, G.L.; ebendort, S. 161 f. - Vgl. auch Bey, R.P./Porter, R.B.; ebendort, S. 56 ff und Sundem, G.L.; Evaluating Capital Budgeting Models in Simulated Environments, a.a.O., S. 990
 - 3) Ebendort, S. 163
 - 4) Vgl. ebendort, S. 165 ff und Haegert, I./Wittmann, F.; Zur Eignung der Amortisationsdauer als Kriterium für Investitionsentscheidungen bei unsicheren Erwartungen, in: ZfB 29. Jg. (1977), S. 475-489
 - 5) Vgl. auch Weingartner, H.M.; Some New Views on the Payback Period and Capital Budgeting Decisions, in: MS Vol. 15 (1969), S. B594-607 und Hertz, D.B.; Investment Policies that pay off, in: HR Vol. 46 (1968), S. 96-108
- 5) Haegert, I./Wittmann, F.; Zur Eignung der Amortisationsdauer als Kriterium für Investitionsentscheidungen bei unsicheren Erwartungen, a.a.O., S. 487 - Vgl. dort auch die betrachtete Entscheidungssituation.

Ein Mittelweg zwischen der Abbildung aller logisch möglichen Handlungskonsequenzen und der Erfassung der Umweltunsicherheit allein im Erwartungswert liegt in der Abbildung repräsentativer, faktisch für relevant gehaltenen Umweltkonstellationen.¹⁾ Ein solches Vorgehen zur Reduktion der in einem Entscheidungsmodell zu erfassenden Umweltkonstellationen schlagen etwa Hax²⁾ und Jacob³⁾ vor.

Unabhängig vom Risikoaspekt bestehen Vereinfachungsmöglichkeiten der Handlungskonsequenzen durch heuristische Vorüberlegungen zur Zahlungszurechnung.⁴⁾ Diese bestehen im Grundsatz darin, die leistungswirtschaftlichen Interdependenzen der Investitionsplanung im Kalkül nur vereinfachend zu berücksichtigen oder auszuklammern.⁵⁾ "Die Schließung des Modells gegenüber dem kausalen Variationspotential im Produktionsbereich vollzieht sich demnach durch heuristische Eingriffe, indem faktisch variante Größen durch Bewertung parametrisch konstant gehalten werden."⁶⁾ Allerdings sind dem Verfasser keine heuristischen Regeln bekannt, die über diese grundsätzlichen Vorüberlegungen hinaus Grundlage einer

- 1) Vgl. Gaitanides, M.; Planungsmethodologie - Vorentscheidungen bei der Formulierung integrierter Investitionsplanungsmodelle, Berlin 1979, S. 306
- 2) Vgl. Hax, H.; Zur Verbindung von Zustandsbaumverfahren und Chance-Constrained Programming in Entscheidungsmodellen der Kapitalbudgetierung, in: Albach, H./Simon, H. (Hrsg.): Investitionstheorie und Investitionspolitik privater und öffentlicher Unternehmen, Wiesbaden 1976, S. 123-144, hier S. 136 ff, speziell S. 139 f
- 3) Vgl. Jacob, H.; Unsicherheit und Flexibilität, a.a.O., S. 433 ff. Vgl. auch Jacob, H./Karrenberg, R.; Die Bedeutung von Wahrscheinlichkeitsintervallen für die Planung bei Unsicherheit, in: ZfB 47. Jg. (1977), S. 673-696
- 4) Vgl. zum Begriff Gaitanides, M.; Planungsmethodologie, a.a.O., S. 164
- 5) Ein solcher Schritt würde natürlich das Planungskalkül insgesamt vereinfachen und nicht nur Auswirkungen auf die zu berücksichtigenden Handlungskonsequenzen haben.
- 6) Gaitanides, M.; Planungsmethodologie, a.a.O., S. 165

sinnvollen Zahlungszurechnung in der Investitionsprogrammplanung und damit einer Vereinfachung der Entscheidungsmodelle sein können. Nur für den Fall einer einstufigen Produktion auf Einzeckaggregaten ist es möglich, durch Abschätzung der, im Grundsatz erst nach erfolgter Optimallösung bekannten Dualwerte der leistungswirtschaftlichen Restriktionen eine sinnvolle Zahlungszurechnung durchzuführen.¹⁾

Zu (4): Heuristische Überlegungen zur Abgrenzung des zeitlichen Rahmens der Investitionsplanung müssen sich beziehen: 2) - auf die Festlegung des Planungshorizontes, also des Zeitraums, für den die potentiellen Handlungsalternativen explizit in dem Kalkül zu erfassen sind; - auf die Abgrenzung des Ergebnishorizonts, bis zu dem die Ziel- und Ressourcenwirkungen der Projekte explizit in das Entscheidungsmodell einbezogen werden sollen.

Hax schlägt vor, in einem bestimmten Zeitpunkt immer nur über die unmittelbar bevorstehenden Investitionsprojekte zu entscheiden und die zeitlich-vertikalen Interdependenzen durch Abschätzung endogener Zinsfüße im Rahmen einer Planung mit geeigneten klassischen Partialmodellen zu berücksichtigen.³⁾ Er sieht "einen wesentlichen Vorteil der heuristischen Verfahren für die Praxis gerade darin, daß auf direkte und explizite Informationen über zukünftige Projekte verzichtet werden kann."⁴⁾

Die heuristische Abschätzung der direkten und indirekten

- 1) Vgl. dazu Blumentrath, U.; Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., S. 340 ff
- 2) Vgl. Bitz, M.; Zeithorizonte bei der Investitions- und Finanzplanung, in: ZfB 48. Jg. (1978), S. 175-193, hier S. 176
- 3) Vgl. Hax, H.; Investitionstheorie, S. 83 ff. Die dort geäußerten Gedanken präzisiert Hax in einem Brief an Herrn Professor Dr. Bitz Kruschwitz vom 3.9.1979, der dem Verfasser dankenswerterweise zugänglich gemacht wurde.
- 4) Eberhart

Folgeeffekte¹⁾ kann dabei nicht nur durch Vorgabe endogener Zinsfüsse oder sonstiger Schattenpreise geschehen. Alternativ ist es auch möglich, repräsentative Aktionsprogramme für die späteren Planungszeitpunkte (= Primalvariable) vorzugeben, um die relevanten zeitlich-vertikalen Interdependenzen zu erfassen.²⁾ "Die simultane Ermittlung des Aktionsprogramms (der Periode - Anmerkung des Verfassers) 2 (oder der Aktionsprogramme 2) geschieht nicht deshalb, um festzulegen, welche Aktionen zu Beginn der Periode 2 tatsächlich verwirklicht werden sollen, sondern dient lediglich dem Zweck, die zwischen den Programmen der beiden Perioden bestehenden relevanten zeitlich-vertikalen Interdependenzen zu erfassen und ihre Wirkung auf das Aktionsprogramm 1 gebührend berücksichtigen zu können."³⁾ Die Stärke dieser Interdependenzen hängt unter anderem davon ab, inwieweit das heute zu realisierende Investitionsprogramm von späteren Datenentwicklungen beeinflusst wird (Robustheit des Aktionsprogramms⁴⁾) und welche Möglichkeiten es besitzt, sich an diese Entwicklungen anzupassen (Flexibilität des Aktionsprogramms⁵⁾).

Bei der Festlegung des Ergebnishorizontes ist darüber zu entscheiden, ob die von den Handlungsalternativen ausgelösten

- 1) Vgl. Bitz, M.; Zeithorizonte bei der Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., S. 182 ff
- 2) Vgl. zu diesem Vorgehen Hax, H.; Zur Verbindung von Zustandsraumverfahren und Chance-Constrained Programming in Entscheidungsmodellen der Kapitalbudgetierung, a.a.O., S. 136 ff. Vgl. auch Jacob, H.; Unsicherheit und Flexibilität, a.a.O., S. 439 und S. 446 ff
- 3) Jacob, H.; Unsicherheit und Flexibilität, S. 439
- 4) Vgl. Gupta, S.H./Rosenhead, J.; Robustness in Sequential Investment Decisions, in: MS Vol. 15 (1968), S. B.19-29 - Rosenhead, J./Elton, J./Gupta, S.K.; Robustness and Optimality as Criteria for Strategic Decisions, in: OR quarterly Vol. 23 (1972), S. 413-431
- 5) Vgl. dazu Jacob, H.; Unsicherheit und Flexibilität, a.a.O., S. 322 ff und derselbe; Flexibilitätsoberlegungen in der Investitionsrechnung, in: ZfB 37. Jg. (1967), S. 1-34. Vgl. auch Hausmann, F.; Einführung in die Systemforschung, a.a.O., S. 183 ff

Ziel- und Ressourcenwirkungen detailliert im Modell erfasst werden sollen oder ob die explizite Abbildung vor Ablauf des Projekts mit den längsten Wirkungen abgebrochen werden soll. Die Größe eines Entscheidungsmodells und die Informationsbeschaffungsaufwendungen steigen mit der Länge des Ergebnishorizontes stark an, "während das Gewicht, mit dem sich die einem Projekt für die einzelnen Perioden zugeordneten Aktionsgrößen auf den Präferenzwert eines entsprechenden Aktionsprogramms auswirken, tendenziell um so niedriger ist, je weiter in der Zukunft diese Ergebnisgrößen liegen."¹⁾ Allgemeine heuristische Regeln zur Abgrenzung des Ergebnishorizontes fehlen bisher,²⁾ dessen Festlegung kann deshalb nur problemindividuell etwa in Abhängigkeit von der zeitlichen Struktur der Zahlungsreihen der Investitions- und Finanzierungsprojekte erfolgen.³⁾

Zu (5): Auch auf dem Gebiet einer Vereinfachung der im Modell abgebildeten Restriktionen und Systembeziehungen des Entscheidungsfeldes sind noch umfangreiche Forschungsarbeiten der Investitionstheorie notwendig, um über Möglichkeiten hinaus zu wissenschaftlich begründeten Handlungsempfehlungen für die Modellkonstruktion zu kommen.

Eine Reduzierung der finanzwirtschaftlichen Restriktionen wird nur in sehr begrenztem Umfang möglich sein, etwa durch Vernachlässigung der Liquiditätsbedingungen späterer Planperioden mittels Pauschalnahmen über den Kapitalmarkt⁴⁾ oder durch Berücksichtigung von Projektabhängigkeiten nicht in Nebenbedingungen, sondern durch Formulierung entsprechender Variablen.⁵⁾

- 1) Bitz, M.; Zeithorizonte bei der Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., S. 185
- 2) Vgl. Bitz, M.; Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 223
- 3) Vgl. Ebenfort, S. 221 ff
- 4) Vgl. dazu etwa die Heuristik DEAN in Abschnitt 7
- 5) Vgl. dazu Hax, H.; Investitionstheorie, a.a.O., S. 65 ff

Sehr viel größere Möglichkeiten der Vereinfachung bietet der leistungswirtschaftliche Bereich. So erscheint es trotz der Existenz logischer Abhängigkeiten ¹⁾ nicht sinnvoll, die Investitions- und Finanzplanung, die Planung des Fertigungsprogramms und die Produktionsdurchführungsplanung simultan in einem Totalmodell zu tätigen. "In einem Modell, das Variable aus den aufgeführten betrieblichen Teilbereichen enthält, würde die Anzahl der Variablen und Abhängigkeiten derart zunehmen, daß die mathematischen und rechnerischen Möglichkeiten bei ihrem gegenwärtigen Stande zur Bewältigung der zu lösenden Aufgaben nicht ausreichen würden." ²⁾ Auch aus Gründen des unterschiedlichen zeitlichen Horizonts der drei Planungsbereiche erscheint eine Vernachlässigung der (kurzfristigen) Produktionsprozessplanung im Rahmen der langfristigen Investitions- und Finanzplanung sinnvoll. ³⁾ Auch bei der Abbildung der verbleibenden Planungsbereiche: Investition, Finanzierung und Produktionsprogramm sind Vereinfachungen der Systembeziehungen möglich. Da das pragmatische Ziel einer solchen Simultplanung in der Ermittlung von Investitions- und Finanzierungsprogrammen liegt, ist eine Entlastung des Modells von produktionspezifischen Gegebenheiten zu empfehlen. Zu denken wäre etwa an:

- (a) Eine vereinfachte Abbildung des Fertigungsprozesses, die sich an die für die Investitionsplanung relevanten qualitativen Kapazitätsarten anlehnt und zu einer Reduktion der im Modell notwendigen Mengenkontinuitätsbedingungen führen kann.
- (b) "Die Zahl der Kapazitätsnebenbedingungen läßt sich ... verringern, wenn jeweils funktionsverwandte Aggregate

1) Vgl. dazu Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band III: Die Finanzen, a.a.O., S. 369 f und Blumentrath, U.: Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., S. 436 ff

2) Gutenberg, E.; ebendort, S. 371

3) Vgl. Galtau, M.: Planungsmethodologie, a.a.O., S. 160 ff und Blumentrath, U.: Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., S. 442 ff

eine Betriebsmittelgruppe bilden, also die Kapazitätsnebenbedingungen werkstattbezogen sind." ¹⁾²⁾

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß jede Aggregation von Handlungsalternativen auch die Komplexität der im Modell abzubildenden Systembeziehungen reduziert. ³⁾

5.2.4 Zusammenfassung der heuristischen Regeln in Ablaufplänen

In einer Reihe von Ablaufplänen sollen in diesem Teil die allgemeinen und speziellen heuristischen Regeln so verbunden werden, daß der Entscheidungsträger diese Regeln sinnvoll und zielgerichtet bei der Analyse der Entscheidungssituation und der Wahl des darauf anzuwendenden Modelltyps einsetzen kann.

Die Ablaufpläne für die Analyse des Zielsystems, der Handlungsmöglichkeiten, der Handlungskonsequenzen und Systembeziehungen ⁴⁾ sind dabei jeweils so aufgebaut, daß aus einer Untersuchung der Problemgegebenheiten und der Anwendbarkeit allgemeiner oder spezieller heuristischer Regeln ein bestimmter Modelltyp resultiert. Die Unterscheidung verschiedener Modelltypen erfolgt dabei in Anlehnung an die zur Verfügung stehende Modelltechnologie, speziell an das Lösungsverfahren.

1) Scheer, A.-W.: Produktionsplanung, a.a.O., S. 55

2) Nur in dem, in der Realität wohl recht seltenen Fall, daß Investitionsalternativen ohne eindeutigen Verwendungszweck in der Planung betrachtet werden, wären zusätzliche Kapazitätsnebenbedingungen zu formulieren, die sicherstellen, daß die (flexibel einsetzbaren) Kapazitäten einer Investition nur in einer Werkstatt verwendet werden. Die Zuordnung würde durch das Modell erfolgen.

3) Vgl. Axelster, S.: Aggregation of Product Data, in: Kern, R. u.a. (Hrsg.): Operations Research Verfahren, 35, 1979, S. 29-48

4) Ein Ablaufplan für die Analyse des Planungshorizontes wurde nicht aufgestellt, da dieser keinen Einfluß auf den Modelltyp hat.

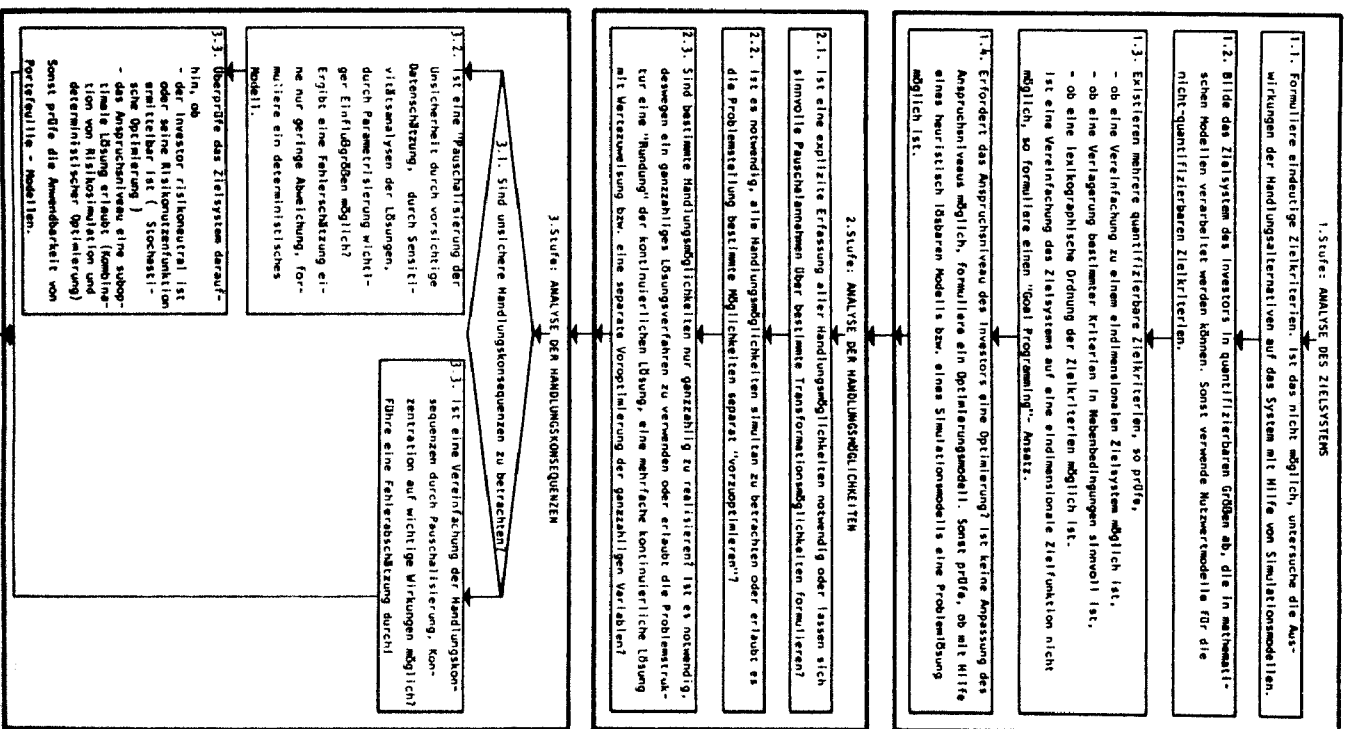
Diese Einteilung ist im Operations Research üblich und auch für den hier betrachteten Problembereich sinnvoll, da heute die Frage der Formulierung von Investitionsprogrammplanungsmodellen als weitgehend gelöst, die Fragen der Lösungstechnischen Behandlung von Modellen realistisch Größenordnung jedoch als weitgehend unbeantwortet betrachtet werden können.

Die Ablaufpläne sind nicht als klare Handlungsanweisungen zur heuristischen Vereinfachung einer bestimmten Problemstellung gedacht, sie sollen vielmehr Angaben darüber machen, welche Modelltypen zur Lösung eines Investitionsplanungsproblems zu wählen sind, wenn es nicht gelingt, die Entscheidungssituation zu vereinfachen.

Wie aus den Verweisnummern in den Ablaufplänen deutlich wird, wird vorgeschlagen, die jeweilige Problemstellung in der Reihenfolge Zielsystem - Handlungsmöglichkeiten - Handlungskonsequenzen - Systembeziehungen zu analysieren.

- Durch die Form des Zielsystems wird festgelegt, ob
- das Modell eine einfache oder mehrere Zielsetzungen verfolgen soll;
- eine eindeutige, mathematisch formulierbare Zielfunktion existiert;
- das Zielsystem zu optimieren ist oder ob Lösungsverfahren anwendbar sind, die nicht garantierterweise das Optimum ermitteln.

Durch die Beantwortung dieser Fragen ist der Modelltyp weitgehend determiniert. Im Rahmen der Analyse der Handlungskonsequenzen ist dann noch festzulegen, ob ein deterministisches Modell anwendbar ist oder ein stochastisches Modell mit dem damit verbundenen Lösungstechnischen Schwierigkeiten formuliert werden muß. Insbesondere für Optimierungsmodelle ist es von erheblicher Bedeutung, ob die Systembeziehungen in linearen Funktionen erfassbar sind, da nur dann die Verfahren der linearen Programmierung anwendbar sind.



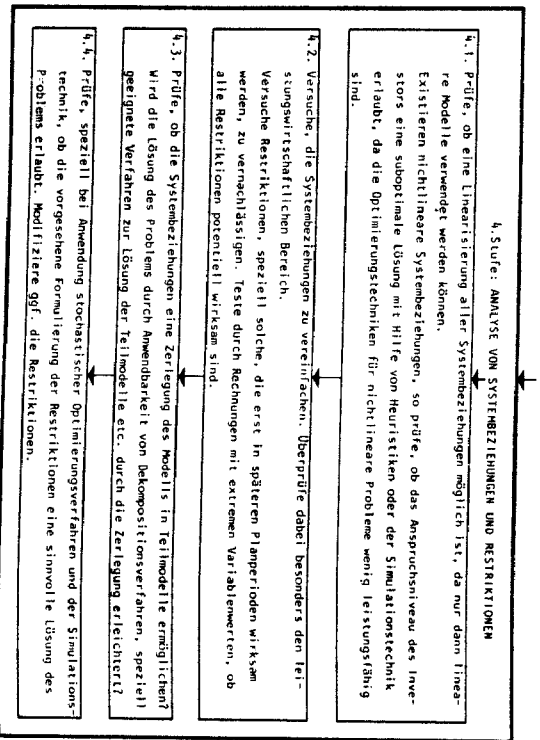


Abb. 33 : Zusammenfassung der heuristischen Regeln zur Modellkonstruktion in einem Ablaufplan

Die Ablaufpläne machen deutlich, daß Optimierungsmodelle beim gegenwärtigen Stand der Forschung nur bei einfachen oder heuristisch stark vereinfachten Problemstellungen anwendbar sind. Die Anwendungsbreite von Simulationsmodellen ist demgegenüber sehr viel größer.

5.2.5 Beurteilung von Entscheidungsmodellen im heuristischen Konstruktionsprozeß

5.2.5.1 Ablauf der heuristischen Modellevaluation

Im Verlauf eines heuristischen Modellkonstruktionsprozesses hat der Anwender die verschiedenen Modellalternativen zu selektieren und daher zu bewerten. Im Unterschied zum algorithmischen Ansatz steht als Vergleichsmaßstab kein übergeordnetes Meta-Modell zur Verfügung, ¹⁾ sondern die Beurteilung beruht auf Abschätzungen der Modellgüte im Hinblick auf die vom Entscheidungssträger formulierten Anforderungen. Diese Anforderungen sind in Kriterien zu erfassen, die eine nominale, ordinale oder kardinale Messung der Zielerfüllung durch die Modellalternativen ermöglichen. ²⁾

Ein weiterer Unterschied zum algorithmischen Vorgehen besteht darin, daß in aller Regel die alternativen Modelle nicht gelöst werden, sondern daß ihre Güte ex ante abgeschätzt wird. Die mehrfache Lösung alternativer Entscheidungsmodelle erscheint ökonomisch nur vertretbar, wenn es sich um eine "repetitive Entscheidungssituation" handelt, das zu konstruierende Modell also mehrfach in gleichartigen Entscheidungs-

¹⁾ Vgl. zum algorithmischen Ansatz Zentes, J.: Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 228 ff

²⁾ Vgl. Szyperski, N./Winand, U.: Zur Bewertung von Planungstechniken im Rahmen einer betriebswirtschaftlichen Unternehmensplanung, in: Pfohl, H./Chr./Krupp, B. (Hrsg.): Anwendungsprobleme moderner Planungs- und Entscheidungstechniken, Königstein/Ts. 1979, S. 194-218, hier S. 204 ff

situationen verwendet werden soll.¹⁾ Im Einzelfall kann es jedoch auch im heuristischen Konstruktionsprozeß nützlich sein, mit alternativen Modellstrukturen zu experimentieren. Dabei ist darauf zu achten, daß das experimentell betrachtete Problem der realen Entscheidungssituation möglichst weitgehend entspricht.²⁾

Da eine reale Entscheidungssituation durch eine Vielzahl von ökonomischen, technischen, organisatorischen und sozialen Faktoren gekennzeichnet ist, sind schon für einen konkreten Einzelfall Experimente mit alternativen Modellen unterschiedlichen Homomorphiegrades mit erheblichem Aufwand verbunden. Beim heutigen Wissensstand erscheint es jedoch als methodisch sehr aufwendig und kaum zu bewältigen, allgemeingültige Aussagen über die Eignung bestimmter Modellstrukturen abzuleiten. Dazu müßten eine Vielzahl von realen Entscheidungssituationen empirisch erhoben, analysiert und schließlich in alternativen Entscheidungsmodellen abgebildet werden.

Angesichts dieser, hier nur skizzierten methodischen Schwierigkeiten kann die Betriebswirtschaftslehre zur Zeit nur den Prozeß der Modellvalidierung beschreiben und dabei heranzuziehende Beurteilungskriterien entwickeln, um damit dem Entscheidungsträger Hilfestellungen bei der Wahl alternativer Planungskalküle zu geben.³⁾

Im heuristischen Konstruktionsprozeß ist die Modellbeurteilung zeitlich nicht zu trennen von dem eigentlichen Entwurf

- 1) Vgl. Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 410 ff
- 2) Vgl. Fischer, J./Kruschwitz, L.: Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Verfahren, Diskussionspapier Nr. 52 des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Berlin 1980
- 3) Vgl. Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 430

der Modellelemente. Die Beurteilung auf der Basis einer ex-ante Abschätzung oder auch von Experimenten findet kontinuierlich während der Konstruktionsphase statt. Im Zusammenwirken von Modellkonstrukteur und Entscheidungsträger werden in einem regelkreisähnlich ablaufenden Entwicklungsprozeß die Modellelemente festgelegt, beurteilt und gegebenenfalls modifiziert.

Bei der Beurteilung eines Planungsmodells wird sich der Entscheidungsträger an seinen subjektiven Ansprüchen an eine Entscheidungshilfe orientieren. "Die Anforderungen sind ... Ergebnis von Entscheidungen, in die die Präferenzen, Bedürfnisse und Wünsche der Benutzer eingehen."¹⁾

Erste Aufgabe des Entwicklungsprozesses ist es, diese Benutzieranforderungen in operationalen Kriterien zu erfassen. Insbesondere Entscheidungsträger, die wenig Erfahrungen mit der quantitativen Entscheidungsvorbereitung haben, werden deren Möglichkeiten nur selten realistisch einschätzen und daher in bezug auf einige Kriterien zu hohe, in bezug auf andere zu niedrige Anforderungen stellen. "Often, the decision maker will modify his expectations of the outcome on the basis of a fruitful exchange with the analyst. Further, their interaction at this juncture may result in a modification of the model so that the outcome can be more consistent with the decision maker's expectations."²⁾ Zweite Aufgabe des Entwicklungsprozesses ist es, den Entscheidungsträger über die Leistungsfähigkeit von Planungsmodellen zu informieren und den Modellkonstrukteur mit den Anforderungen und der Probleminterpretation des Investors vertraut zu machen. Im dritten Schritt wird der Konstrukteur daraufhin ein Modell

- 1) Kirsch, W.: Die verhaltenswissenschaftliche Fundierung der Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 463
- 2) Schellamberger, R.E.: Criteria for Assessing Model Validity for Managerial Purposes, a.a.O., S. 649

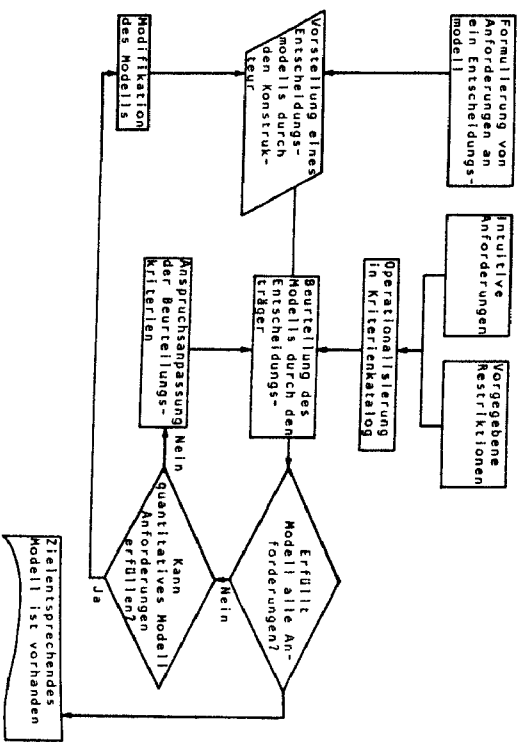


Abb. 34: Schema des kombinierten Konstruktions- und Beurteilungsprozesses

vorstellen, daß diese Anforderungen weitgehend berücksichtigt. Im gegenseitigen Dialog wird dieses beurteilt, gegebenenfalls werden die Kriterien modifiziert. Auf der Grundlage dieser Beurteilung wird das Modell dann in einem nächsten Schritt verbessert. In einer gegenseitigen Anpassung von Anspruchsniveau des Entscheidungsträgers und Modellleistungen entsteht so schrittweise das zielentsprechende Planungsmodell (vgl. Abbildung 34).

Die Aufgabe der allgemeinen und speziellen heuristischen Prinzipien liegt dabei bei der Gestaltung der Modell- und Datenstruktur, während für die Beurteilungsaufgabe sowohl Kriterien wie auch Beurteilungsverfahren zu entwickeln sind.

5.2.5.2 Kriterien

Im Vordergrund der Betrachtung stand bisher der Entwicklungs-, Implementierungs- und Datengewinnungsaufwand eines Entscheidungsmodells; andere Kriterien wurden zunächst vernachlässigt. Wäre der Planungsaufwand das einzige Kriterium zur Beurteilung von Planungsmodellen, so wären im Zweifelsfall die einfachsten Modelle auch die besten. Würde umgekehrt die Verfeinerung des Modells nicht zu zusätzlichen Kosten führen, wäre "stets das umfangreichere, wirklichkeitsnähere Modell dem einfacheren Modell überlegen."¹⁾

Empirische Untersuchungen zeigen, daß in der Praxis weitere Kriterien an Entscheidungshilfen angelegt werden, die zum Teil als mindestens genau so wichtig angesehen werden wie der Kostenaspekt.²⁾

1) Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 37

2) Vgl. Souder, W.E.: A Scoring Methodology for Assessing the Suitability of Management Science Models, a.a.O., S. B30 ff

Die weiteren Anforderungen an ein Entscheidungsmodell faßt Little wie folgt zusammen:

"A model that is to be used by a manager should be simple, robust, easy to control, adaptive, as complete as possible and easy to communicate with. By simple is meant easy to understand; by robust, hard to get absurd answers from; by easy to control, that the users know what input data would be required to produce desired output answers; adaptive means that the model can be adjusted as new information is acquired; completeness implies that important phenomena will be included even if they require judgemental estimates of their effect; and, finally, easy to communicate with means that the manager can quickly and easily change inputs and obtain and understand the outputs."¹⁾

In diesen Kriterien wird besondere Beachtung den Anforderungen der potentiellen Benutzer gewidmet, da: "In many respects, the biggest bottleneck in the managerial use of models is not their development but getting them used."²⁾ Vernachlässigt werden Aspekte der formalen Modell- und Datenstruktur sowie der Modelltechnologie. "Die Fachabteilungen bzw. die am Planungsprozeß beteiligten außerhalb der OR- bzw. DV-Abteilung sind interessiert a) an den Eingabedaten ...; b) an den Rechenergebnissen ... Sie sind nicht oder nur wenig an dem benutzten OR-Verfahren interessiert."³⁾ Diese Aussage soll hier so verstanden werden, daß die Benutzer stark an

- 1) Little, J.D.C.: Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus, in: MS Vol. 16 (1970), S. B. 466-485, hier S. 466
- 2) Derselbe, S. 483; vgl. auch Hammond, J.S.: Do's & don'ts of computer models for planning, in: HBR Vol. 52 (1974), S. 110-123 und Pfohl, H.-Ch.: Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, a.a.O., S. 76 ff
- 3) Stahlrecht, P.: Strategien zur Implementierung von OR-gestützten Planungsmodellen in der Praxis, a.a.O., S. 47

den Modellinhalten, wenig aber an der verwendeten Modelltechnik interessiert sind. Diese Aspekte der Modelltechnik sind aber sowohl für die Praktikabilität des Modells wie auch für den erforderlichen Planungsaufwand von Bedeutung und müssen daher in weiteren Kriterien erfaßt werden. Im folgenden werden daher zwei Kategorien von Kriterien betrachtet: (a) die Kriterien der Benutzeradäquanz¹⁾ und (b) die modelltechnischen Kriterien.

(a) Kriterien der Benutzeradäquanz

(a1) Realitätsnähe des Modells

Nach diesem Kriterium soll das Modell alle relevanten Merkmale der realen Problemstellung vollständig abbilden. Ausschlaggebend ist dabei die Problemsicht des Managers, nicht die des Modellkonstruktors.²⁾ Da der Manager das Modell für seinen eigenen Entscheidungsprozeß benutzt, muß er dessen Struktur und die benutzten Daten folgerichtig an seinem eigenen Realitätsverständnis. Im einzelnen erwartet der Entscheidungsträger eine Übereinstimmung der Modellinhalte mit seinem Zielsystem, den von ihm gesehenen Handlungsmöglichkeiten, Abhängigkeiten und Beschränkungen sowie seiner Annahmen über die Zukunft. Einer so interpretierten Realitätsnähe messen die Manager bei der Beurteilung eines Modells größte Bedeutung bei.³⁾

(a2) Fähigkeiten des Modells

Der Entscheidungsträger fordert von einem Modell eine möglichst weitgehende Unterstützung und große Verbesserung sei-

- 1) Zum Begriff vergleiche Pfohl, H.-Ch.: Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, a.a.O., S. 83
- 2) Vgl. Schellenberger, R.E.: Criteria for Assessing Model Validity for Managerial Purposes, a.a.O., S. 645
- 3) Souder, W.E.: A Scoring Methodology for Assessing the Suitability of Management Science Models, a.a.O., S. 530 ff

nes Entscheidungsprozesses. Er erwartet zum einen subjektiv befriedigende Antworten auf gestellte Fragen (Aspekte der Lösungsgüte). Damit sind nicht in jedem Fall mathematisch optimale Lösungen gemeint; oftmals ist wichtiger, daß die abgeleiteten Lösungen dem Vorverständnis des Managers von einer "vernünftigen" Problemlösung entsprechen.¹⁾ Neben der Lösungsermittlung soll das Entscheidungsmodell eine möglichst weitgehende Analyse des Problems, gegebenenfalls ergänzt um alternative Lösungsmöglichkeiten liefern (Aspekt der Problemanalyse). Schließlich erwartet der Entscheidungsträger vom Modell Anregungen für weitere Fragestellungen (Aspekt der Probleminspiration).

Die Fähigkeiten eines Entscheidungsmodells werden entscheidend bestimmt von der verwendeten Modelltechnologie, speziell durch das Lösungsverfahren. So steigert beispielsweise ein Optimierungsverfahren, das nicht nur eine (mathematisch) optimale Lösung ermittelt, sondern durch Sensitivitätsanalysen und Parametrisierung die Lösung auch eingehend analysiert und Ansatzpunkte für weitere Fragen eröffnet, die Fähigkeiten eines Modells.

(a3) Komfort des Entscheidungsmodells

Der Komfort eines Entscheidungsmodells drückt sich in Kriterien aus wie beispielsweise:²⁾

- Erlernbarkeit des Umgangs mit der Planungstechnik (Ausbildungs- und Trainingsaufwand);
- Bedienungskomfort und Handhabbarkeit der Planungstechnik;

1) Hier liegt einer der Gründe für die Präferenzierung von Simulationsmodellen gegenüber Optimierungsrechnungen durch das Management. Vergleichbar unter anderem Hammond, J.S.; Do's & don'ts of computer models for planning, a.a.O., S. 111 ff

2) Vgl. Szyperski, N./Minand, U.; Zur Bewertung von Planungstechniken im Rahmen einer betriebswirtschaftlichen Unternehmensplanung, a.a.O., S. 213

- Eingriffsmöglichkeiten des Benutzers in den Modelllaufbau und in den Modelllösungsprozess;
- Einfachheit der Dateneingabe und Transparenz der Datenausgabe.

Hinter diesen Kriterien steht die Auffassung, daß es notwendig ist, daß der Entscheidungsträger das Modell möglichst direkt unter Vermeidung organisatorischer Umwege benutzen kann.

"Üblicherweise wurden bisher in den Unternehmen Planungsabteilungen, OR-Abteilungen oder ähnliche Stabsabteilungen eingerichtet, in denen die Experten zusammengefasst werden, die aufgrund ihrer fachlichen Qualifikation dazu in der Lage sind, mit Entscheidungstechniken zu arbeiten."¹⁾ Bei dieser organisatorischen Auslagerung kann ein Planungsmodell die Funktion einer direkten Entscheidungshilfe nicht erfüllen. Manager verwenden Modelle als Lernhilfen bei der Durchleuchtung einer Entscheidungssituation.²⁾ Die Mensch-Modell-Kommunikation sollte daher Ziel jeder Modellkonstruktion³⁾ sein. Zwar wird eine direkte Kommunikation der Entscheidungsträger mit dem Modell etwa über Bildschirm (zum Beispiel im Rahmen einer Konferenz) aufgrund der Größe der hier betrachteten Investitionsplanungsmodelle technisch nur selten möglich sein,⁴⁾ doch sollten organisatorische Umwege bei der

1) Pfuhl, H.-Ch.; Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, a.a.O., S. 84. Vgl. dort auch die Mängel dieses Vorgehens.

2) Vgl. LITTLE, J.D.C.; Models and Manager; The Concept of a Decision Calculus, a.a.O., S. 468 f

3) Vgl. ebendort und Hammond, J.S.; Do's and don'ts of computer models for planning, a.a.O., S. 119 f

4) Vgl. Götzan, G./Kirsch, W.; Problemfelder und Entwicklungstendenzen der Planungspraxis, in: zBw 31. Jg. (1979), S. 162-194, hier S. 185f. Vgl. dort auch die Forderung von Praktikern nach einer solchen direkten Kommunikation. Emmerit, P.; Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschine-Kommunikations-System, a.a.O., stellt ein System mit direkter Kommunikationsmöglichkeit für Investitionsentscheidungen vor.

Benutzung des Modells weitgehend vermieden werden. Eine solche Konzeption setzt voraus, daß der Benutzer die von ihm zu setzenden Parameter in einfacher, der normalen Sprache ange-näherter Form eingeben kann und die übrigen benötigten Daten "automatisch" vom System bereitgestellt werden. Auf der Ausgabeseite umfaßt der Komfortgesichtspunkt, "daß die Ergebnisse der Modellrechnung ... entsprechend den Bedürfnissen der Informationsträger selektiert, verdichtet und geeignet dargestellt werden."¹⁾ Der Komfort eines Planungsmodells wird weitgehend, aber nicht ausschließlich von der verwendeten Modelltechnologie bestimmt. Von der Modellstruktur wie der Datenstruktur ist zu fordern, daß für den Manager alle Zusammenhänge und Parameter einsichtig und überschaubar sind, so daß er nicht gezwungen ist, die Entscheidungsvorbereitung einem 'Black-Box-Modell' zu überlassen, dessen Annahmen er nicht vollständig versteht und dessen Wirkungsweise er nicht durchschaut.²⁾ Überschaubarkeit erfordert Einfachheit der Modell- und Datenstruktur. "Verfeinerungen im Detail sind nur sinnvoll, wenn sie der Modellbenutzer zu erfassen vermag."³⁾ So verstanden, steht der Komfortgesichtspunkt oft im Widerspruch zum Erfordernis der Realitätsnähe.

(a4) Flexibilität des Entscheidungsmodells

Nach diesem Gesichtspunkt soll es "für den Benutzer möglich sein, die Modellparameter oder gar den Aufbau des Modells zu verändern, wenn ihm neue Erkenntnisse oder Maßnahmen

- 1) Schmitz, P.: Voraussetzungen für die Gestaltung computergestützter Entscheidungssysteme, in: Elektronische Datenverarbeitung, 12. Jg. (1970), S. 401-405, hier S. 401
- 2) Vergleiche die gegenteilige Meinung von Stallrecht, P.; Strategien zur Implementierung von OR-gestützten Planungsmodellen in der Praxis, a.a.O., S. 47 f
- 3) Kirsch, W.: Die verhaltenswissenschaftliche Fundierung der Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 463. Vgl. auch Little, J.D.C.; Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus, a.a.O., S. B 470

über das abzubildende reale System vorliegen."¹⁾ Neben diesem Aspekt der Anpassungsfähigkeit an eine sich verändernde Problemstruktur umfaßt die Flexibilität auch die Einsatzbreite eines Entscheidungsmodells. Manager bevorzugen universell einsetzbare Entscheidungstechniken, die bei einem möglichst breiten Spektrum von Problemstellungen anwendbar sind (Aspekt der Einsatzbreite). "Flexibility refers to the diversification of applications of the model; a highly flexible model can be used on different types of projects and different types of decisions."²⁾

Ein Investitionsplanungsmodell ist in diesem Sinne dann flexibel, wenn es sich beispielsweise sowohl zur Beurteilung von Sachinvestitionen wie auch für Finanzinvestitionen eignet und wenn es in möglichst wenig modifizierter Form für Investitionswahl- wie auch für Investitionsdauerentscheidungen anwendbar ist. Die Kapitalwertmethode wäre danach ein flexibles Investitionsplanungsinstrument. An diesem Beispiel wird deutlich, daß die Forderung nach Flexibilität oftmals mit dem Erfordernis nach Realitätsnähe kollidiert. Die Einsatzbreite der Kapitalwertmethode ist nur deswegen so groß, weil durch unter Umständen realitätsferne Prämissen das Entscheidungsfeld stark vereinfacht wird.

Die Anpassungsfähigkeit komplexerer Investitionsplanungsmodelle kann durch einen modularen Modelllaufbau, das heißt durch adäquates Ab- beziehungsweise Zuschalten von Teilmodellen, erhöht werden.³⁾

- 1) Kirsch, W.: Die verhaltenswissenschaftliche Fundierung der Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 463
- 2) Sonder, W.E.: A Scoring Methodology for Assessing the Suitability of Management Science Models, a.a.O., S. B 528
- 3) Vgl. Szyperski, N./Wihand, U.: Zur Bewertung von Planungstechniken im Rahmen einer betriebswirtschaftlichen Unternehmensplanung, a.a.O., S. 211
Vgl. etwa den modularen Aufbau eines Investitionsplanungssystems bei Emerit, P.; Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschine-Kommunikations-System, a.a.O.

(b) Modelltechnische Kriterien

Die technischen Kriterien schlagen sich sämtlich im erforderlichen Planungsaufwand nieder. Es sollen drei Kategorien des Planungsaufwandes unterschieden werden:

(b1) Technisch-organisatorischer Anpassungsaufwand

Um ein Entscheidungsmodell sinnvoll in einem Unternehmen implementieren zu können, müssen gewisse personelle, technische und organisatorische Voraussetzungen erfüllt sein. Zwar ist es sicher möglich, erst im Rahmen der Modellentwicklung die erforderlichen OR-Spezialisten einzustellen, ein Datenverarbeitungssystem der erforderlichen Größe einzuführen und die Organisationsstruktur auf das neue Planungssystem abzustimmen, jedoch erfordert ein solches Vorgehen einen erheblichen Aufwand an Geld und Zeit. Von zwei Entscheidungsmodellen gleicher Leistungsfähigkeit ist also dasjenige zu bevorzugen, das die vorhandenen personellen und technischen Ressourcen nutzt und sich am besten der vorhandenen Organisationsstruktur anpaßt. Dies gilt um so mehr, als die kostenmäßigen Auswirkungen der Anpassungsmaßnahmen bei einem Scheitern der Modellentwicklung kurzfristig nicht revidierbar sind.

(b2) Entwicklungs- und Implementierungsaufwand

Hierunter soll der Zeit- und Geldaufwand erfaßt werden, der in direktem Zusammenhang mit der Modellentwicklung und der beabsichtigten Modelllösung steht. Zu denken ist in erster Linie an die Personalkosten der vorhandenen, mit dem Modellentwurf beschäftigten OR- und EDV-Spezialisten und der Mitarbeiter der beteiligten Fachabteilungen sowie an die Beschaffungs- oder Erstellungskosten für die erforderliche Lösungs- und Datengewinnungssoftware.

1) Kirsch, W.: Die verhaltenswissenschaftliche Fundierung der Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 463

(b3) Laufender Planungsaufwand

Laufende Kosten entstehen für den Betrieb und die Wartung des Planungssystems. Die Kosten für die notwendigen Rechenzeiten fallen dabei in vielen Fällen weniger ins Gewicht als der Aufwand, der erforderlich ist, um die Modell- und Datenstruktur kontinuierlich den Veränderungen des abgebildeten Realsystems anzupassen. Dieser kontinuierlich notwendige Wartungsaufwand scheint einer der wesentlichen Gründe für das Scheitern komplexer Planungssysteme zu sein. In der oft "missionarisch anmutenden"¹⁾ Einführungsphase eines solchen Systems werden Datengewinnungsprobleme durch aufwendige "Sonderaktionen"²⁾ und soziale Widerstände durch einen Promotor der obersten Unternehmensleitung³⁾ überwunden. Solche Projekte, die oft auch noch besonders vom Plan einzelner Personen getragen werden, scheitern langfristig oft daran, daß dauernde Sonderaktionen organisatorisch nicht tragbar erscheinen, die sozialen Widerstände allmählich zunehmen und die Förderer in eine andere Stellung überwechseln, oft gerade deshalb, weil das Modell bei seiner Einführung grobe Erfolge erzielte.

Je geringer dieser laufende Wartungsaufwand eines Modells ist, das heißt je mehr es organisatorisch integriert ist, desto höher ist also die voraussichtliche Nutzungsdauer des Systems.

1) Vgl. Pfohl, H.-Ch.: Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, a.a.O., S. 80

2) Vgl. Göblier, R.: Operations-Research-Praxis, a.a.O., S. 192

3) Vgl. Pfohl, H.-Ch.: Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, a.a.O., S. 85 und Götzten, G./Kirsch, W.: Problemfelder und Entwicklungstendenzen der Planungspraxis, a.a.O., S. 187 ff

5.2.5.3 Beurteilungsverfahren

Die Aufgabe des Beurteilungsverfahrens im heuristischen Konstruktionsprozeß ist es, die in der jeweiligen Entwicklungsphase zur Wahl stehenden alternativen Ausprägungen der Modell- und Datenstruktur zu bewerten und damit den weiteren Entwurfsprozeß zu steuern. Das Verfahren sollte folgende Anforderungen erfüllen:

(1) Da in jeder Konstruktionsphase erneut eine Beurteilung des bis dahin entwickelten Systems und möglicher Weiterentwicklungen durchzuführen ist, darf das Bewertungsverfahren nicht zu aufwendig sein. Ist das Verfahren zu zeitaufwendig, wird der Konstruktionsprozeß verzögert (und damit auch verteuert); die Entscheidungshilfe kommt für das anstehende Problem zu spät. Verursacht es hingegen zu hohe Kosten, so wird die Modellentwicklung unter Umständen so verteuert, daß eine heuristisch gesteuerte Konstruktion nicht mehr lohnt, sondern die erste, einligermaßen befriedigende Modellvariante vom Entscheidungsträger gewählt wird.

(2) Das Verfahren soll alle, vom Entscheidungsträger gesetzten Bewertungskriterien berücksichtigen können. Die Kriterien der Benutzeradäquanz sind zu einem großen Teil nicht in monetären Größen, zumeist sogar nur ordinal meßbar. Erfagt werden muß somit ein mehrdimensionales, zum Teil qualitatives Zielsystem.

(3) Die organisatorischen Gegebenheiten und die subjektiven Erfahrungen der Entscheidungsträger und damit auch die Anforderungen an das jeweilige Entscheidungsmodell sind unterschiedlich. Soll die Beurteilung nicht ausschließlich intuitiv erfolgen, sondern sich in einem formalen, intersubjektiv nachprüfbaren Bewertungsverfahren nieder-

schlagen, so muß dieses die subjektiven Gewichtungen des Entscheidungsträgers berücksichtigen und ihm damit die Möglichkeit geben, sich schrittweise "sein Modell maßzuschneidern." Im Rahmen dieser subjektiven Gewichtung muß das Verfahren auch die Möglichkeit bieten, Mindestanforderungen bezüglich bestimmter Kriterien zu berücksichtigen.

Die ausgefeilten ökonomischen Bewertungsverfahren etwa der Investitionsrechnung scheinen angesichts des mehrdimensionalen Zielsystems und der fehlenden Datenbasis nicht anwendbar. Geringere Ansprüche an die Problemstruktur stellt die Nutzwertanalyse, ¹⁾ die oft auch als Scoring-Modell ²⁾ oder Punktbewertungsverfahren ³⁾ bezeichnet wird. "Nutzwertanalyse ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente einer Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen." ⁴⁾ Die Nutzwertanalyse ist im Gegensatz zu den klassischen ökonomischen Bewertungsverfahren keine geschlossene Entscheidungsrechnung, "sondern lediglich ein Rahmen für die systematische und nachvollziehbare Aufbereitung von Entscheidungsinformationen, der an verschiedenen Stellen durch die Eingabe subjektiver Urteile ausgefüllt werden muß." ⁵⁾

¹⁾ Vgl. Zangemeister, Ch.; Nutzwertanalyse in der Systemtechnik - Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen, 3. Auflage, München 1973

²⁾ Vgl. Dreyer, A.; Scoring-Modelle bei Mehrfachzielsetzungen, a.a.O., S. 5.

³⁾ Vgl. Zentes, J.; Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 240

⁴⁾ Vgl. Zangemeister, Ch.; Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, a.a.O., S. 158 ff

⁵⁾ Blohm, H./Jäger, K.; Investition, a.a.O., S. 171

Scoring-Modelle sind in der Regel stark auf die spezifische Planungssituation zugeschnitten, haben jedoch eine einheitliche formale Grundstruktur: ¹⁾

(1) Im ersten Schritt werden echte, sich gegenseitig ausschließende Handlungsalternativen definiert, im betrachteten Fall also alternative Modellentwürfe.

(2) Es wird eine Reihe von Zielkriterien entwickelt, nach denen die Alternativen zu beurteilen sind. Diese Kriterien sind so zu formulieren,
- daß jeweils eine (nominale, ordinale oder kardinale) Skala zur Messung der Zielerreichung angegeben werden kann;

- daß nicht mehrere Kriterien die gleiche Projekteigenschaft erfassen (kausale Unabhängigkeit) und
- daß die Erreichung eines Zielkriterium nicht die Erreichung anderer Zielkriterien zur Voraussetzung hat" (Nutzen-Unabhängigkeit). ²⁾

Die beiden letzten Anforderungen lassen sich bei ökonomischen Anwendungen nur selten voll erfüllen, ³⁾ gewisse Überschneidungen der Kriterien werden daher meistens bewußt in Kauf genommen. ⁴⁾

(3) Im dritten Schritt werden die Kriterien gemäß ihrer Bedeutung für den Entscheidungssträger gewichtet. Zur Ermittlung der Gewichte sind eine Reihe von Verfahren ent-

wickelt worden, ¹⁾ von denen das einfachste und oft auch effizienteste die einfache, ordinale Rangordnung der Kriterien ist. ²⁾

(4) Nachdem die Kriterien und ihre Bedeutung festgelegt worden ist, werden die Alternativen bezüglich jedes Kriteriums bewertet. Dazu werden zunächst die jeweiligen Maßskalen der Kriterien herangezogen. Anschließend sind die unterschiedlichen Skalen in einen einheitlichen Maßstab zu überführen. "Im Hinblick auf die Anforderungen und Probleme einer zusammenfassenden Bewertung der nutzertanalytisch untersuchten Projekte sollte für alle Zielkriterien die gleiche Nutzenskala zur Anwendung kommen, und es sollte sich dabei mindestens um eine Ordinalskala - besser noch eine Kardinalskala - handeln." ³⁾

(5) Die so ermittelten Teilnutzen sind nun mit den Zielgewichten zu multiplizieren; es entsteht die Matrix der gewichteten Teilnutzenwerte. ⁴⁾

(6) Durch Aggregation der gewichteten Teilnutzen wird der Nutzwert jeder Alternative ermittelt. Auch hierfür werden in der Literatur verschiedene Verfahren vorgeschlagen. ⁵⁾ Bei Kardinaler Messung der Teilnutzen lassen sich zwei Grundformen unterscheiden: die additive und die multiplikative Verknüpfung. Bei einer multiplikativen Aggregation lassen sich zwar Nutzenabhängigkeiten zwischen den

1) Vgl. Eckenrode, R.T.: Weighing Multiple Criteria, in: MS Vol. 12 (1965), S. 180-192 - Vgl. auch Dreyer, A.: Scoring-Modelle bei Mehrfachzielsetzungen, a.a.O., S. 262 ff und die dort angegebene Literatur
2) Blömm, H./Lüder, K.: Investition, a.a.O., S. 175
3) Vgl. Zangemeister, Ch.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, a.a.O., S. 259 ff und Dreyer, A.: Nutzwertanalyse als Entscheidungsmodell bei mehrfacher Zielsetzung, Dissertation Hamburg 1975, S. 130 ff und Blömm, H./Lüder, K.: Investition, a.a.O., S. 174 ff
4) Vgl. Zangemeister, Ch.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, a.a.O., S. 280

1) Zangemeister, Ch.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, a.a.O., S. 45
2) Vgl. Dreyer, A.: Scoring-Modelle bei der Mehrfachzielsetzung, a.a.O., S. 256
3) Blömm, H./Lüder, K.: Investition, a.a.O., S. 165
4) Blömm, H./Lüder, K.: Investition, a.a.O., S. 165
5) Vgl. Zangemeister, Ch.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, a.a.O., S. 75 ff

Zielkriterien berücksichtigen, jedoch bleibt eine Gewichtung der Zielkriterien wirkungslos. ¹⁾

(7) Im letzten Schritt der Nutzwertanalyse ist schließlich die Handlungsalternative mit dem höchsten Nutzwert auszuwählen, vorausgesetzt sie erfüllt das Anspruchsniveau des Entscheidungsträgers. ²⁾ Zusätzlich können dabei auch Mindestniveaus für die Teilnutzen der einzelnen Kriterien berücksichtigt werden.

Um die Nutzwertanalyse zur Bewertung von Modellalternativen im Rahmen eines heuristischen Konstruktionsprozesses verwenden zu können, ist die Grundstruktur des Verfahrens an die Problemeigenschaften anzupassen. Dabei ist darauf zu achten, daß ein möglichst einfaches und wenig aufwendiges Beurteilungsinstrument entsteht. ³⁾

Die heuristische Konstruktion eines Entscheidungsmodells läßt sich als ein sequentieller Entscheidungsprozeß begreifen, bei dem in Zusammenwirken von Entscheidungssträger und Modellkonstrukteur auf jeder Stufe Entscheidungen über die Modellelemente zu treffen sind. Die meisten Scoring-Modelle vernachlässigen jedoch den Prozeßcharakter bei der Beurteilung und Selektion von Alternativen, in der Regel wird die Nutzwertanalyse nur bei der, den Entscheidungsprozeß abschließenden Selektion einer Alternative eingesetzt. ⁴⁾ Ein

- 1) Vgl. Souder, W.: A Scoring Methodology for Assessing the Suitability of Management Science Models, a.a.O., S. B528 und Dean, B.V./Nisbary, Engineering Projects, in: OR Vol. 13 (1965), S. 550-569, hier S. 553 ff
- 2) Vgl. etwa Dreyer, A.: Scoring-Modelle bei Mehrfachzielsetzungen, a.a.O., S. 258; zur Problematik dieser Regel vgl. ebendort, S. 266 und Pfehl, H.-Ch.: Zur Problematik von Entscheidungsregeln, in: ZfB 42. Jg. (1972), S. 305-336
- 3) Vgl. weiter oben
- 4) Vgl. Dreyer, A.: Scoring-Modelle bei Mehrfachzielsetzungen, a.a.O., S. 265

Nutzwertmodell für den heuristischen Konstruktionsprozeß muß hingegen so aufgebaut sein, daß neben dem schon realisierten Nutzwert auch das "Nutzwertpotential" einer Alternative in die Bewertung eingeht, das mögliche Weiterentwicklungsmöglichkeiten es Modellentwurfs beurteilt.

Die Berücksichtigung des Entwicklungspotentials einer Alternative in dem Bewertungsverfahren kann alternativ etwa wie folgt gesehen werden: Zum einen kann der Kriterienkatalog um eine entsprechende Größe erweitert werden, zum anderen kann für ein Modell in einem bestimmten Konstruktionsstadium neben dem realisierten auch der bei Weiterverfolgung einer bestimmten Entwicklungslinie potentiell als möglich erachtete Teilnutzen angegeben werden. Der zweite Weg ist zwar aufwendiger, gestattet aber eine detailliertere Einschätzung der Weiterentwicklungsmöglichkeiten eines Modellentwurfs, die in aller Regel vom Modellkonstrukteur vorgenommen werden muß.

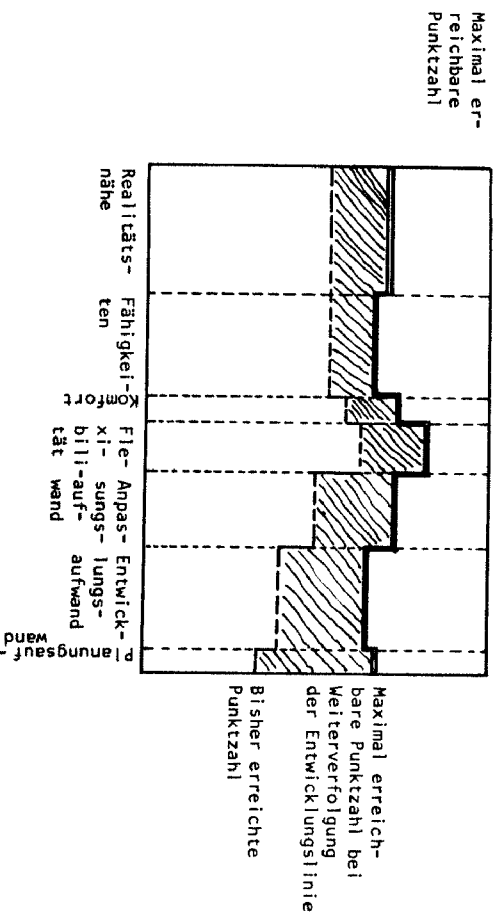


Abb. 35 : Entwicklungspotential einer Modell-Entwicklungslinie im Bewertungsprofil (schematisch)

Ein weiteres Problem liegt in der Formulierung operationaler Bewertungskriterien, deren Erfüllungsgrad sich in einer nominalen, ordinalen oder kardinalen Skala messen läßt. Die oben formulierten Kriterien lassen nur eine sehr grobe ordinale Einstufung von Modellalternativen zu, da ihr Detaillierungsgrad zu gering ist. Das im folgenden skizzierte Punktbewertungsverfahren zerlegt daher die Kriterien in jeweils mehrere Aspekte, in denen die genauen Anforderungen des Entscheidungsträgers an das zu konstruierende Modell erfaßt werden.

In Abbildung 36 sind die Bewertungskriterien mit den Aspekten zusammen mit beispielhaft angenommenen Gewichten aufgeführt. Im Anwendungsfall würde die Gewichtung durch eine Befragung des Entscheidungsträgers ermittelt werden, bei der zunächst ordinal und darauf aufbauend kardinal die Bedeutung der Kriterien erhoben würde. ¹⁾ Im Beispiel schätzt der befragte Entscheidungsträger die Realitätsnähe und die Fähigkeiten des Modells sowie den erforderlichen Entwicklungsaufwand relativ hoch ein, während er den Anpassungsaufwand, die Flexibilität und den Komfort des Modells sowie den laufenden Planungsaufwand für weniger wichtig hält. ²⁾ Innerhalb dieses Kriteriums wird für die einzelnen Aspekte die Gewichtungsspeziedur wiederholt. Durch Multiplikation der Kriterien mit den Aspektgewichten ergeben sich die aggregierten Aspektgewichte, deren Summe gleich 100 & ist. ³⁾ Ein Nachteil dieses Vorgehens wird an dieser Stelle deutlich:

- 1) Zu einem solchen Vorgehen vgl. Souder, W.E.: A Scoring Methodology for Assessing the Suitability of Management Science Models, a.a.O., S. B529 ff
- 2) Vgl. ebendort, S. 530 ff
- 3) Zum Vorgehen vgl. Blom, H./Tiber, K.: Investition, a.a.O., S. 178 f und Emert, P.: Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschine-Kommunikationssystem, a.a.O., S. 100 ff

Kriterien	Kriteriaspektte	Gewichte der Aspekte ordi- kardinal	Gewichte der Kriterien ordi- kardinal	Aggregierte Gewichte der Aspekte
1. Realitätsnähe des Modells	1.1. - des Zielsystems	2	25	1 25
	1.2. - der Handlungsalternativen	1	35	
	1.3. - der Systembeziehungen	5	10	
	1.4. - der Restriktionen	4	15	
	1.5. - der Handlungskonsequenzen	3	15	
2. Fähigkeiten des Modells	2.1. - zur Problemlösung	2	30	3 20
	2.2. - zur Problemanalyse	3	30	
	2.3. Lösungsgüte	1	40	
3. Komfort des Modells	3.1. Benutzerkomfort / Übersichtbarkeit der Modell- und Datenstruktur	1	60	6 5
	3.2. Technischer Komfort / Interaktionsfähigkeit und Ausgabeformat	2	40	
4. Flexibilität des Modells	4.1. Anpassungsfähigkeit des Zielsystems	1	30	5 10
	4.2. - der Systembeziehungen	3	20	
	4.3. - der Restriktionen	4	20	
	4.4. Einsatzbreite des Modells in der Investitionsplanung	2	25	
	4.5. - für andere Planungs- bereiche	5	5	
5. Anpassungsaufwand	5.1. der Organisation	3	30	4 15
	5.2. der Datenverarbeitung beim Personal (Austil- dung)	1	40	
	5.3. beim Personal (Austil- dung)	2	30	
6. Entwicklungsaufwand	6.1. Personalkosten	3	25	2 20
	6.2. Lösungssoftware	2	25	
	6.3. Datengewinnung/-prognose	1	30	
	6.4. Software zur Datenein- und -ausgabe	4	20	
7. Laufender Planungsaufwand	7.1. Datengewinnung	1	35	7 5
	7.2. Modell-Wartung	3	25	
	7.3. Datenbank - Wartung	2	30	
	7.4. Lösungskosten	4	10	
		Summe 100		Summe 100
				1,75 1,25 1,50 0,50

Abb. 36 : Nutzwertanalyse zur Beurteilung eines Entscheidungsmodells (exemplarisch)

Durch die separate Gewichtung von Aspekten und Kriterien ist es speziell bei einer Vielzahl von Aspekten möglich, daß einzelnen Aspekten aggregiert ein unangemessen kleines Gewicht beigegeben wird. So haben zum Beispiel die Kosten für einen Rechenlauf (Lösungskosten), die ein bedeutender Faktor bei der Wahl der Modelltechnologie sind, nur noch ein Gewicht von 0,5 % und schlagen damit bei der Wahl der Modellelemente kaum durch. Um solche Effekte, die die Selektionswirkung des Verfahrens beeinträchtigen können, zu vermeiden, ist eine sorgfältige Revision der Zielgewichte durchzuführen und gegebenenfalls die Anzahl der Aspekte zu beschränken.

Bei der Ableitung von Skalen zur Messung der Zielerreichung sind drei Arten von Aspekten zu unterscheiden:

- Der Aspekt ist monetär messbar (zum Beispiel die Lösungskosten);
- Der Aspekt ist so formuliert, daß die Zielerreichung sich in Ja/Nein-Form erfassen läßt; 1)
- Über eine verbale Umschreibung ist es möglich, für einen Aspekt eine ordinale oder kardinale Skala zu definieren: 2)

Beispiel: Komfort - Einsichtigkeit der Datenstruktur

Sind die im Modell verwendeten Daten für Sie einsichtig?

Vollkommen	1	(ordinale Bewertung)
Überwiegend	2	
Teils/Teils	3	
Nur zum Teil	4	
Nein	5	

1) Vgl. dazu Souder, W.E.: A Scoring Methodology for Assessing the Suitability of Management Science Models, a.a.O., S. B529 ff - Zur Problematik dieses Vorgehens vgl. Zangemeister, Ch.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, a.a.O., S. 157

2) Vgl. Emmer, P.: Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschine-Kommunikationssystem, a.a.O., S. 93 ff

Die Gefahr einer solchen verbal umschriebenen Skala liegt in wechselnden Bewertungen, zum Beispiel aufgrund von Lerneffekten im Verlauf des Konstruktionsprozesses oder aufgrund eines variierenden Wortverständnisses. 1)

An dem Beispiel wird auch ein grundlegendes Problem jeder subjektiven Bewertung deutlich. Es ist nie sicher, daß eine schlechte Einstufung wirklich in Mängeln des Modells begründet ist, sie kann genau so gut ihre Ursache in einer mangelnden Sachkenntnis des Entscheidungsträgers haben, 2) die dann im Dialog mit dem Modellkonstrukteur zu beheben ist. Die anschließende Transformation der Messergebnisse in eine einheitliche Nutzenskala ist besonders schwierig bei der hier vorgeschlagenen Mischung aus monetär und nicht-monetär messbaren Kriterien. Weiterhin wird die Teilnutzenermittlung dadurch erschwert, daß in aller Regel in jeder Phase des Konstruktionsprozesses nur wenige Alternativen zur Auswahl stehen, eine Ordinalskala also nicht die nötige Trennschärfe und Robustheit besitzt. Durch Bildung von Klassen gleicher Güte bei allen Aspekten kann dieses Problem jedoch in den meisten Fällen befriedigend gelöst werden: 3)

Beispiel: Laufender Planungsaufwand - Lösungskosten

Wie würden Sie die Kosten für einen Lösungslauf bewerten?

Sehr gut	unter 100,-	Teilnutzenwerte
Gut	unter 300,-	25 Punkte
Befriedigend	unter 600,-	20 Punkte
Noch tragbar	bis 1000,-	10 Punkte
Untragbar	darüber	5 Punkte
		0 Punkte

1) Vgl. Zangemeister, Ch.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, a.a.O., S. 244 ff

2) Vgl. ebendort

3) Vgl. das Vorgehen bei Emmer, P.: Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschine-Kommunikationssystem, a.a.O., S. 93 ff und Dean, B.V./Nisbry, M.J.: Scoring and Profitability Models for Evaluating and Selecting Engineering Projects, a.a.O., S. 55 ff

Werden analoge Skalen für alle Aspekte verwendet, so sind die Zielerreichungsgrade damit formal vergleichbar gemacht.

Beurteilt man abschließend die Eignung der Nutzwertanalyse als Instrument zur Modellevaluation, so ist darauf hinzuweisen, "daß bei der Bestimmung von Zielgewichten und entscheidungsträgerbezogenen Gewichten Fehler und Inkonsistenzen auftreten können, eine eindeutige Ermittlung der Zielwirkungen der Entscheidungsalternativen häufig nicht möglich ist, generell mit der Ungenauigkeit entscheidungsrelevanter Parameter auf Grund der Subjektivität oder Unvollkommenheit ihrer Messung oder Schätzung gerechnet werden muß." ¹⁾

Eine rein formale, zu strikte Interpretation der Ergebnisse liegt daher auch nicht im Sinne der Methode ²⁾ und kann zu falschen Entscheidungen führen. "Die Nutzwertanalyse ist keine geschlossene Entscheidungsrechnung, sondern ein offener Entscheidungsrahmen zur Gewährleistung von Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Entscheidungsfindung." ³⁾ Dieser Rahmen kann nur die Basis für intensive Bewertungsdiskussionen zwischen Modellkonstrukteur und Modellbenutzer sein, diese aber nie ersetzen. Allein durch diese Funktion kann sie jedoch die rationale Wahl der Modell- und Datenstruktur entscheidend fördern und damit die Effizienz des Konstruktionsprozesses steigern.

Die Nutzwertanalyse stellt keineswegs das einzig mögliche Verfahren zur Bewertung der Konstruktionsalternativen dar. ⁴⁾ Andere denkbare Verfahren wie zum Beispiel die PARTNER-Methode

- 1) Dreyer, A.: Scoring-Modelle bei Mehrfachzielsetzungen, a.a.O., S. 266
- 2) Vgl. Emmert, P.: Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschine-Kommunikations-System, a.a.O., S. 106
- 3) Blöhm, H./Licker, K.: Investition, a.a.O., S. 184
- 4) Einen kurzen Überblick über die alternativen ökonomischen Bewertungsverfahren gibt Töpfer, A.: Planungs- und Kontrollsysteme industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 197 ff

de ¹⁾ oder die Methode der sequentiellen Morphologie ²⁾ basieren bezüglich der Bewertungsproblematik jedoch weitgehend auf der Nutzwertanalyse, so daß auf ihre Darstellung hier verzichtet werden kann.

5.3 Beurteilung des heuristischen Ansatzes

Bei kritischer Sicht der in Abschnitt 5 abgeleiteten heuristischen Regeln zur Modellkonstruktion ist einzusetzen, daß es sich dabei um ein Konglomerat von Aussagen des unterschiedlichsten Präzisionsgrads handelt. Zwar ist der heuristische Ansatz in seinen Aussagen immer noch konkreter als Bestrebungen, eine "optimale Modellkomplexion" abzuleiten, doch leidet auch er unter dem Defizit, das die Betriebswirtschaftslehre bei der Erforschung des Prozesses des Modellentwurfs aufzuweisen hat. "Wenn auch in jüngster Zeit einige Ansätze zur Systematisierung des Modellentwurfs zu beobachten sind ..., so kann dennoch nicht übersehen werden, daß die diesbezügliche Forschung noch in ihren Anfängen steckt." ³⁾

Gerade neueste Arbeiten auf diesem Gebiet machen die Schwierigkeiten deutlich, ⁴⁾ dem Modellkonstrukteur für eine praktische Entscheidungssituation konkrete Handlungsanweisungen in die Hand zu geben. Diese Probleme sind in den methodischen Schwierigkeiten begründet, ⁵⁾

- 1) Vgl. Esch, M.E.: Planungshilfe mittels eines technischen Bewertungsverfahrens von Beliebzahlen - PARTNER, in: Neeschild, F./Voth, W. (Hrsg.): Politische Planungssysteme, Opladen 1973, S. 444-460
- 2) Vgl. Schlücksupp, H.: Kreative Ideenfindung in der Unternehmung, a.a.O., S. 99 ff
- 3) Müller-Werbach, H.: Entwurf von Input-Output-Modellen, a.a.O., S. 521
- 4) Vgl. in der deutschen Literatur zum Beispiel Laager, F.: Entscheidungsmodelle, a.a.O.; Gatenides, M.: Planungsmethodologie, a.a.O. und Meyer, H.: Entscheidungsmodelle und Entscheidungsrealität - Ein empirisches Prüfkonzept und seine Anwendung im Fall industrieller Materialdispositionen, Tübingen 1979
- 5) Vgl. Abschnitt 5.2.1

- die Vielfalt realer Problemstellungen zu erheben und zu analysieren;
- die Fülle der Freiheitsgrade, über die der Modellkonstrukteur im jeweiligen Einzelfall verfügt, zu systematisieren und zu bewerten;
- vergleichende Untersuchungen über die Vor- und Nachteile alternativer Modellformulierungen anzustellen, deren Ergebnisse für reale Problemstellungen repräsentativ sind. ¹⁾

Nach Meinung des Verfassers ist eine Überwindung dieser Schwierigkeiten in absehbarer Zeit nicht zu erwarten. Als Zwischenlösung erscheint es sehr sinnvoll, theoretische Überlegungen und empirische Erfahrungen in heuristischen Regeln zu erfassen und damit theoretisch zwar inexakte, ²⁾ praktisch jedoch hilfreiche Aussagen abzuleiten. Zudem gilt: "Die Beschäftigung mit dem Einsatz inexakter Schätz- und Gestaltungsverfahren kann über den Rahmen der einzelnen Anwendungssituation hinaus der allgemeinen Hypothesengenerierung förderlich sein." ³⁾

Beim gegenwärtigen Stand der Forschung ist der heuristische Ansatz allerdings noch weit von der Präzision der Handlungsanweisungen entfernt, die beispielsweise auf dem Gebiet der Informatik beim Entwurf von EDV-Anwendungssystemen, von Datenbanken oder von "strukturierten Programmen" erreicht werden ist. ⁴⁾

1) Vgl. dazu auch Abschnitt 6.4

2) Vgl. Köhler, R.: "Inexakte Methoden" in der Betriebswirtschaftslehre - Praxisrelevanz und wissenschaftstheoretische Beurteilung des von Heilner und Rescher vorgeschlagenen Ansatzes, in: Ulrich, H. (Hrsg.): Zum Praxisbezug der Betriebswirtschaftslehre in wissenschaftstheoretischer Sicht, Bern-Stuttgart 1976, S. 153-169 und Braun, G.E.: Zum Praxisbezug der Betriebswirtschaftslehre in wissenschaftstheoretischer Sicht, in: ZfBw 31. Jg. (1979), S. 468-486, speziell S. 475 ff

3) Köhler, R.: "Inexakte Methoden" in der Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 166

4) Vgl. Müller-Werbach, H.: Entwurf von Input-Output-Modellen, a.a.O., S. 522 und die dort angegebene Literatur sowie Wedekind, H.: Datenbanksysteme I, Mannheim-Wien-Zürich 1974 und Schnurp, P./Floyd, G.: Software, Programmentwicklung und Projektorganisation Berlin-New York 1976 sowie Schaefer, A.W./Polnberg, I./Demmer, H./Heilner, C.: Wirtschaftsfors- und Betriebsinformatik, München 1978

Um einen ähnlichen Entwicklungsstand heuristischer Regeln auch für das Gebiet der Konstruktion von Entscheidungsmodellen zu erreichen, erscheint neben einer eingehenden Sichtung bisheriger theoretischer Erkenntnisse es notwendig, stärker als bisher die praktischen Entscheidungssituationen und deren Anforderungen an Entscheidungsmodellen zu analysieren. ¹⁾

1) Vgl. Little, J.D.C.: Models and Manager: The Concept of a Decision Calculus, a.a.O.

6. Heuristische Verfahren zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsmodellen

6.1 Kennzeichen und Arten heuristischer Lösungsverfahren

Die heuristischen Lösungsverfahren gehören zur Gruppe der heuristischen Programme. 1) Ihre Aufgabe ist die Lösung wohldefinierter, jedoch schlecht-lösbarer Problemstellungen. 2) Streim definiert heuristische Lösungsverfahren wie folgt: "Ein Lösungsverfahren wird dann als heuristisch bezeichnet, wenn es

- (1) nichtwillkürliche Entscheidungsoperatoren verwendet, die
- (2) bewirken, daß potentielle Lösungen vom Suchprozeß ausgeschlossen werden, und wenn
- (3) aufgrund des fehlenden Konvergenzbeweises keine Lösungsgarantie gegeben werden kann." 3) 4)

Mit diesen Merkmalen grenzt Streim die heuristischen Lösungsverfahren gegenüber Algorithmen, Näherungsverfahren und willkürlichen Verfahren ab (vgl. Abb. 37). 5)

Die hier betrachteten Investitionsplanungsprobleme sind dadurch gekennzeichnet, daß sie sich numerisch eindeutig for-

- 1) Vgl. die Einteilung in Abschnitt 4.1.4
 - 2) Vgl. Abschnitt 4.1
 - 3) Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 151
 - 4) Streim nennt neben diesen drei begriffskonstituierenden Merkmalen noch weitere drei akzessorische Merkmale:
 - (1) Die Verwendung künstlicher, d.h. subjektiv bestimmter Stoppgeln zur Begrenzung des Lösungsprozesses;
 - (2) Die Möglichkeit, den Ablauf des Verfahrens durch Eingabe von Parametern zu steuern;
 - (3) Eine primale Vorgehensweise, d.h. die Zulässigkeit der Lösung nach jedem Lösungsschritt.
- (Vgl. ebendort, S. 150 ff). Nach meiner Ansicht bezeichnen diese drei Merkmale zwar Eigenschaften einer Reihe von heuristischen Lösungsverfahren, ohne damit jedoch spezifisch für diese Art von Verfahren zu sein.
- 5) Vgl. ebendort, S. 151

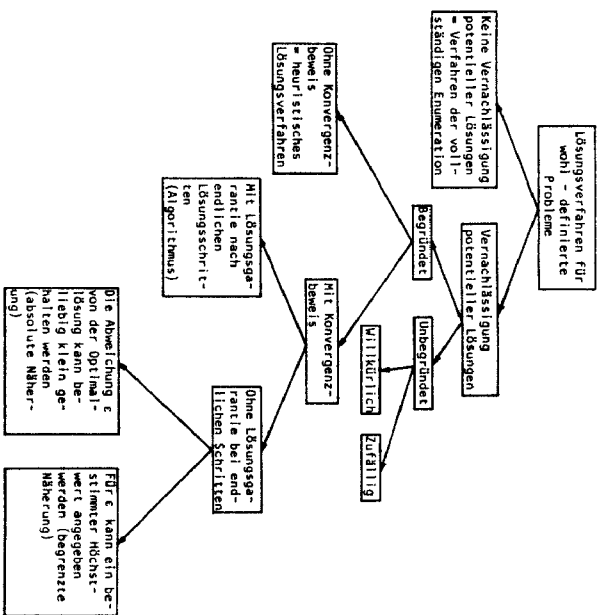


Abb. 37 : Klassifizierung von Lösungsverfahren 1)

1) Ähnlich Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S.151

mulieren lassen und daß insbesondere ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Handlungsmöglichkeiten und Zielfunktion besteht. Die folgenden Ausführungen beschränken sich daher auf mathematische heuristische Lösungsverfahren und vernachlässigen Verfahren, die etwa zur Lösung komplexer Spielprobleme konzipiert worden sind. 1)

1) Vgl. Weißner, J.D.: Bausteine zur Heuristischen Programmierung, a.a.O., S. 46

Heuristische Lösungsverfahren lassen sich in materiell- und formal-orientierte Verfahren unterteilen. ¹⁾ "Die materiell-orientierten Verfahren setzen an den sich jeweils aus der realen Problemstellung ergebenden spezifischen Eigenschaften an." ²⁾ Sie befassen sich beispielsweise mit bestimmten ökonomischen Entscheidungsproblemen (hier etwa mit Investitionsplanungsproblemen) und nutzen bei der Lösung die besonderen materiellen Eigenschaften der Problemstellung aus. ³⁾

Eine zweite Gruppe von Verfahren, die sogenannten formal-orientierten Heuristiken, orientieren sich hingegen an der formalen Struktur eines Problems. "Die zweite Klasse enthält heuristische Verfahren, die zur Lösung linearer, nichtlinearer, ganzzahliger usw. Entscheidungsmodelle konzipiert sind. Sie sind folglich anwendbar, wenn die Problemstellung bestimmte formale Eigenschaften aufweist." ⁴⁾ Für Investitionsprogrammplanungsprobleme sind speziell Heuristiken zur Lösung linearer, gemischt-ganzzahliger Modelle von Interesse.

Die Verfahren beider Gruppen lassen sich unterteilen in Eröffnungsverfahren und Verbesserungsverfahren. ⁵⁾ Wie in Abschnitt 2.3.3 näher erläutert wurde, dienen Eröffnungsverfahren der Ableitung einer ersten Lösung. Im Gegensatz dazu haben Verbesserungs- oder auch Iterationsverfahren die Aufgabe, vorliegende Lösungen so zu verbessern, daß das Anspruchsniveau des Entscheidungsträgers besser erfüllt wird.

- 1) Vgl. Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 153
- 2) Galus, G.; Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung allgemeiner ganzzahliger linearer Planungsprobleme, In: ZOR Bd. 20 (1976), S. 89-104, hier S. 89
- 3) Vgl. Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 153
- 4) Ebdort
- 5) Vgl. Miller-Merbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 72 ff - Vgl. auch die sich daran anlehrende Einteilung von Meißner, J.D.; Eine Typisierung heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O.

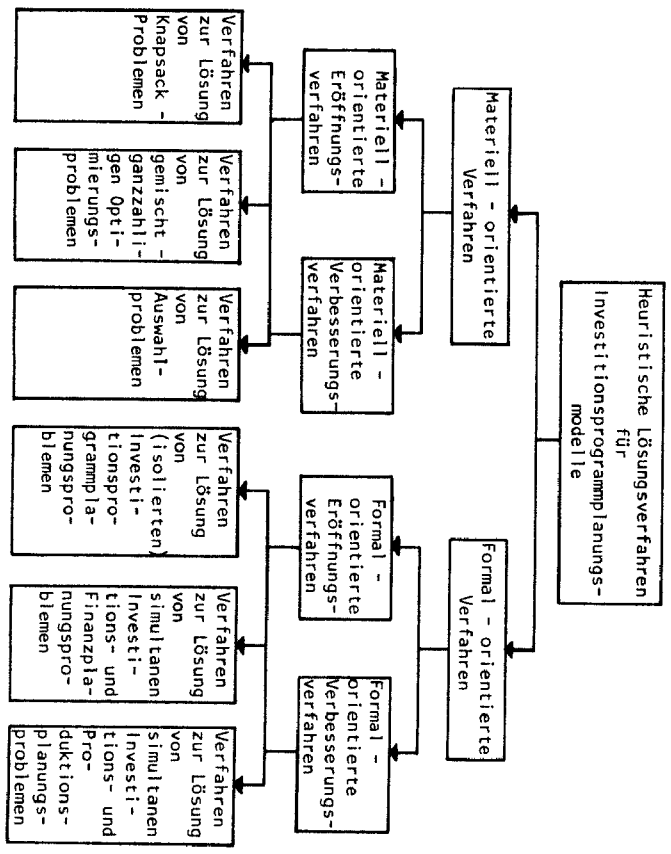


Abb. 38: Heuristische Verfahren zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsproblemen

Eine mögliche Konstruktion wäre es etwa, ein formal-orientiertes Eröffnungsverfahren mit einem materiell-orientierten Verbesserungsverfahren zu koppeln, um problemindividuelle Anforderungen an die zu ermittelnde Lösung zu berücksichtigen. "Eröffnungsverfahren sind mit Entscheidungsbaumverfahren verwandt und unterscheiden sich von ihnen vor allem dadurch, daß Lösungsmengen aus der Betrachtung ohne die Sicherheit ausgeschlossen werden, daß sie nicht die gesuchte (optimale)

Lösung enthalten." ¹⁾ Sie werden daher auch als "gekappede Entscheidungsbaumverfahren" ²⁾ oder - bei extremer Beschrankung des Lösungsprozesses - als "Zweigverfahren" ³⁾ bezeichnet.

Wie im Abschnitt 2.3.2 ausgeführt wurde, lassen sich Entscheidungsbbaumverfahren grob danach klassifizieren, ^{4) 5)}

- (1) welche erzeugte Teillösung als Ausgangspunkt für die Erzeugung weiterer Lösungszustände gewählt wird (Organisationsmerkmal oder auch Reihenfolgeentscheidung);
- (2) auf welche Weise aus einer vorliegenden Lösung ein neuer Lösungszustand entwickelt wird und wieviele Zustände gleichzeitig erzeugt werden (Verzweigungsmerkmal);
- (3) wie die Güte der einzelnen Lösungszustände und der Entscheidungsvariablen im Lösungsprozeß bewertet wird (Bewertungsmerkmal);
- (4) wann erzeugte Teillösungen oder zur Wahl stehende Variablen vom weiteren Lösungsprozeß ausgeschlossen werden (Ausschlussmerkmal).

Inbesondere durch die Ausschlussentscheidung unterscheidet sich der Aufbau heuristischer Verfahren von algorithmischen Entscheidungsbaumverfahren.

Die rigidesten Ausschlussentscheidungen treffen die sogenannten

- 1) Miller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 73 ff
- 2) Vgl. ebendort, S. 73 ff
- 3) Vgl. Meißner, J.-D.: Bausteine zur heuristischen Programmierung, a.a.O., S. 95 ff
- 4) Vgl. Miller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 75 ff und derselbe: Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 661 ff
- 5) Vgl. die detaillierte Einteilung in Abschnitt 6.3.2.1 und die dort angegebene Literatur

ten Prioritätsregelverfahren. ¹⁾ "Bei ihnen wird unter den verschiedenen Zweigen des Entscheidungsbaums einer aufgrund eines einfachen, an sinnvoll erscheinenden Kriterien, meist ohne großen Rechenaufwand durchführbaren Vergleichs ausgewählt." ²⁾ Alle weiteren Zweige werden aus der Betrachtung ausgeschlossen. Zu unterscheiden sind zwei Formen von Prioritätsregelverfahren: Die statischen Verfahren bewerten die Alternativen (= Zweige) zu Beginn des Lösungsprozesses und behalten diese Bewertung während des gesamten Prozesses bei, während die dynamischen Verfahren bei der Alternativenbewertung den jeweils erreichten Lösungszustand berücksichtigen. ³⁾

Im Gegensatz zu den Prioritätsregelverfahren bewerten die Bewertungsverfahren nicht die einzelne Handlungsalternative, sondern den aus ihrer Realisierung resultierenden Lösungszustand. Da mehrere Lösungen erzeugt und bewertet werden, kann die Ausschlussentscheidung so gestaltet werden, daß jeweils mehrere Knoten als Ausgangspunkt für weitere Verzweigungen genommen werden. Es sind also Verfahren mit paralleler oder sequentieller Organisation konstruierbar. ⁴⁾ Nach der Art der Bewertungsvorschrift lassen sich zwei Verfahrenstypen unterscheiden: ⁵⁾ Verfahren mit einfacher Bewertung erzeugen

- 1) Vgl. Miller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., derselbe; Heuristische Verfahren, in: Management-Enzyklopädie, Ergänzungsband, München 1973, S. 346-355, hier S. 348 ff - derselbe; Heuristic Methods. Structures, Applications, Computational Experience. In: Cottle, R./Kranp, J. (eds.): Optimization Methods for Resource Allocation, London 1974, S. 401-416, hier S. 402 ff - derselbe; Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler, Lektion 40: Kombinatorische Probleme II, Heuristische Verfahren, in: Wist 4. Jg. (1975), S. 236-245, hier S. 237 ff - derselbe; Heuristische Verfahren und Entscheidungsbaumverfahren, in: HWB, Sp. 1812-1826, hier Sp. 1816 ff
- 2) Miller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 73
- 3) Vgl. Meißner, J.-D.: Bausteine zur Heuristischen Programmierung, a.a.O., S. 109
- 4) Vgl. dazu Abschnitt 2.3.2
- 5) Vgl. zu dieser, die Einteilung von Miller-Werbach differenzierenden Klassifizierung Meißner, J.-D.: Eine Typisierung heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O.

eine Reihe von Lösungen, bewerten den erreichten Ist-Zustand und treffen daraufhin die Ausschlußentscheidung. Verfahren mit vorausschauender Bewertung (Vorauschauregelverfahren) 1) ermitteln ebenfalls eine Reihe von Lösungen, berücksichtigen bei der Abschätzung von deren Güte jedoch neben dem Ist-Zustand die potentiellen Möglichkeiten, die dieser Zustand zur Lösungsverbesserung noch besitzt.

Die Bewertungsoperationen von Vorauschauregelverfahren sind damit zwar aufwendiger, führen aber zu einer besseren Fundierung der Ausschlußentscheidung und können damit die Lösungsqualität eines heuristischen Lösungsverfahrens steigern. Die bisher eingeordneten Verfahrenstypen gehören alle zur Klasse der Eröffnungsverfahren mit abnehmendem Freiheitsgrad. Bei diesen Verfahren nimmt die Anzahl der Alternativen mit Fortschritt des Lösungsprozesses ab. 2) "Dagegen steigt bei den Verfahren mit zunehmendem Freiheitsgrad die Zahl der Auswahlmöglichkeiten mit dem Rechenfortschritt." 3) Heuristiken dieses Aufbaus sind schwieriger zu konstruieren, liefern aber im Vergleich zu Verfahren mit abnehmendem Freiheitsgrad tendenziell die besseren Lösungen. Das ist unter anderem darauf zurückzuführen, daß Eröffnungsverfahren mit zunehmendem Freiheitsgrad die Struktur bisher ermittelter Lösungen aufbrechen können und die Teillösungen nicht nur um weitere Handlungsalternativen ergänzen. 4)

Abbildung 39 gibt einen Überblick über diese grobe Klassifikation heuristischer Eröffnungsverfahren und zeigt zu jedem Verfahrenstyp einen möglichen Entscheidungsbaum auf.

- 1) Vgl. dazu die oben angegebenen Arbeiten von Müller-Werbach S. 74 ff
- 2) Vgl. Müller-Werbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 74 ff
- 3) Derselbe; Heuristische Verfahren und Entscheidungsbaumverfahren, a.a.O., S. 1817
- 4) Vgl. ebendort, Sp. 1825 das Beispiel einer Lösung eines Knagsack-Problems mit einem Eröffnungsverfahren zunehmenden Freiheitsgrades.

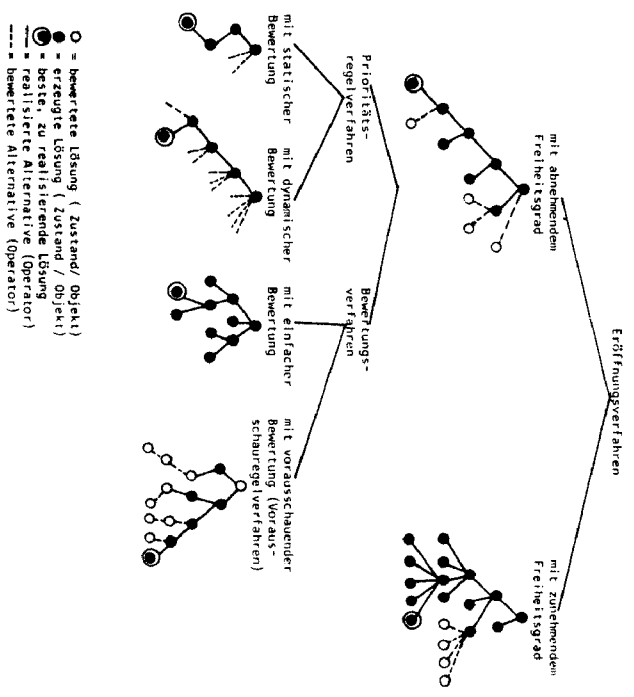


Abb. 39: Grobklassifikation heuristischer Eröffnungsverfahren und Verdeutlichung der Verfahrenseigenschaften an exemplarischen Entscheidungsbaum

Auch die Verbesserungsverfahren seien in Anlehnung an Müller-Werbach klassifiziert. Bei den Verbesserungsverfahren mit ungezielter Auswahl wird gewissermaßen mechanisch ohne Berücksichtigung der für das Problem formulierten Zielkriterien eine Lösungsverbesserung versucht. Ein Beispiel für diese Vorgehensweise ist etwa ein Austausch von bisher in der Lösung enthaltenen gegen nicht enthaltene Projekte, der mechanisch solange fortgeführt wird, bis entweder eine Verbesserung erzielt wurde oder eine künstliche Stoppregel erfüllt ist.

Im Unterschied dazu prüfen die Verbesserungsverfahren mit gezielter Auswahl vor Durchführung eines Verbesserungsversuches, ob die anvisierte Operation erfolgsversprechend ist oder nicht. "Der Berechnung von Alternativlösungen ist also ein Filter oder ein Test vorgeschaltet, durch den Alternativlösungen, die offensichtlich keine Lösungsverbesserungen bewirken können, von der expliziten Berechnung ausgeschlossen werden."¹⁾

Die Unterscheidung verschiedener Arten von heuristischen Lösungsverfahren ist hilfreich bei der Auswahl und Entwicklung von Heuristiken für das speziell zu lösende Problem. In Abschnitt 6.3 der vorliegenden Arbeit wird eine weitere Differenzierung der beim Design und der Evaluation heuristischer Lösungsverfahren zu lösenden Probleme vorgenommen.

1) Müller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O., S. 74

6.2 Darstellung ausgewählter heuristischer Lösungsverfahren

6.2.1 Formal-orientierte Verfahren

6.2.1.1 Abgrenzung und Einteilung

Investitionsprogrammplanungsprobleme werden in aller Regel als lineare, gemischt-ganzzahlige Entscheidungsmodelle formuliert.¹⁾ Für Probleme der ganzzahligen Planungsrechnung sind eine Reihe formal-orientierter heuristischer Lösungsverfahren entwickelt worden.²⁾

Es ist zu prüfen, ob diese Verfahren auf Investitionsprogrammplanungsmodelle anwendbar sind und dabei Ergebnisse erzielen, die die Formulierung eigenständiger materieller heuristischer Lösungsverfahren erübrigen würde.

Die Entwicklung heuristischer Lösungsverfahren für ganzzahlige lineare Programmierungsprobleme (GLP-Probleme) begann Mitte der sechziger Jahre, als deutlich wurde, daß effiziente Algorithmen für GLP-Probleme in absehbarer Zeit nicht zur Verfügung stehen würden, andererseits aber eine Reihe entsprechender Planungsmodelle formuliert war.

Vielleicht liegt in diesem Ursprung als Notbehelf die Tatsache begründet, daß die Forschungsanstrengungen zur Entwicklung heuristischer Verfahren weit weniger umfangreich sind als die zur Konstruktion algorithmischer Programme. "Dies wird noch durch die Tatsache unterstrichen, daß in praktisch

1) Eine Ausnahme bilden die Portefeuille-Modelle zur Planung von Investitionsprogrammen bei unsicheren Erwartungen. Hierbei handelt es sich um nicht-lineare Optimierungsprobleme.

2) Einen Überblick gibt Gallus, G.: Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung allgemeiner ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme (Ein Überblick), a.a.O.

allen LP-Standardprogrammssystemen lediglich entsprechende Moduln zur exakten Lösung von GLP-Problemen enthalten sind, heuristische Moduln dagegen noch keinen Eingang gefunden haben." ¹⁾

Formal-orientierte Heuristiken ähneln in ihrem Aufbau zu- meist den algorithmischen Entscheidungsbaumverfahren. ²⁾ Der hohe Rechenaufwand dieser Algorithmen resultiert zu einem großen Teil aus dem Erfordernis, die Nichtverbesserungsfähigkeit einer, meist schon frühzeitig erreichten optimalen Lösung durch implizite Berechnung aller anderen denkbaren Lösungen zu beweisen. Das Grundprinzip der meisten heuristischen Verfahren besteht nun darin, durch möglichst sinnvolle und plausible Kriterien nur solche Lösungen zu entwickeln und zu betrachten, die eine Verbesserung der bereits vorliegenden Lösung versprechen und auf Beweisrechnungen zu verzichten. ³⁾

Die dem Verfasser bekannten ⁴⁾ heuristischen Verfahren für GLP-Probleme lassen sich in drei Hauptgruppen einteilen:

- (1) Verkürzte Branch-and-Bound-Verfahren
- (2) Direkte Suchverfahren
- (3) Gradientenverfahren

Weiterhin lassen sich die Verfahren danach klassifizieren, ob sie für die allgemeine oder nur für die binäre GLP anwend-

- 1) Gallus, G.: Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung allgemeiner ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme (Ein Überblick) a.a.O., S. 90
- 2) Vgl. dazu Abschnitt 2.3.2
- 3) Vgl. etwa Miller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 73 ff und derselbe; Modeling Techniques and Heuristics for Combinatorial Programming, a.a.O., S. 22 ff
- 4) Diese Einschränkung erklärt sich unter anderem daraus, daß die Literatur zur Lösung von GLP-Problemen überaus umfangreich und in Deutschland in vielen Fällen nicht verfügbar ist. Vgl. etwa die Bibliographie filed Bibliography, Band I - Berlin, Heidelberg, New York 1976, Band II - Berlin, Heidelberg, New York 1978

bar sind, ob für alle (rein-ganzzahlig) oder nur für einige Variablen (gemischt-ganzzahlig) die Ganzzahligkeitsbedingung gelten muß und welche Koeffizientenstruktur für die Anwendbarkeit vorausgesetzt wird. ¹⁾

Insbesondere der letzte, in Veröffentlichungen oft vernachlässigte Gesichtspunkt kann für die Anwendbarkeit einer Heuristik zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsproblemen entscheidend sein. Es ist daher jeweils zu prüfen, ob der vorliegende Modelltyp überhaupt die formalen Anforderungen der jeweiligen Heuristik erfüllt.

So sind die meisten formalen Heuristiken nur bei Problemen mit nur ²⁾ oder überwiegend ³⁾ positiven Koeffizienten anwendbar. Die oft erhobene Forderung nach nur binären Variablen läßt sich durch binäre Entwicklung der Variablen umgehen, wobei allerdings deren Anzahl stark ansteigt. ⁴⁾ Schwerer wiegt, daß die meisten Heuristiken nicht in der Lage sind, gemischt-ganzzahlige Probleme zu lösen oder dazu aufwendige LP-Routinen benötigen. ⁵⁾

- 1) Zur formellen Klassifizierung von GLP-Problemen vgl. Kreuzberger, H.: Numerische Erfahrungen mit einem heuristischen Verfahren zur Lösung ganzzahliger linearer Planungsprobleme, in: Elektronische Datenverarbeitung, 12. Jg. (1970), S. 289-306, hier S. 299
- 2) Vgl. etwa die Verfahren von Toyoda, Y.: A Simplified Algorithm for Obtaining Approximate Solutions for Zero - One Programming Problems, in: MS Vol. 21 (1975), S. 1417-1427 und Senti, S./Toyoda, Y.: An Approach to Linear Programming with 0-1 Variables, in: MS Vol. 15 (1968), S. 196-207
- 3) Vgl. Miller-Werbach, H.: Das Verfahren der "vorsichtigen Annäherung" - Eine heuristische Methode zur Lösung gewisser Probleme der ganzzahligen Planungsrechnung, in: Elektronische Datenverarbeitung, 11. Jg. (1969), S. 564-566
- 4) Vgl. Braver, K.M.: Binäre Optimierung, a.a.O., S. 35 ff
- 5) Vgl. etwa Hillier, F.S.: Efficient Heuristic Procedures for Integer Linear Programming with an Interior, in: OR Vol. 17 (1969), S. 600-637 und Ibaraki, T./Onasiri, T./Miyue, H.: A Heuristic Algorithm for Mixed-Integer Programming Problems, in: Mathematical Programming Study 2 (1974), S. 115-136

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die formalen Anforderungen bekannter kapitaltheoretischer Investitionsprogrammplanungsmodelle.

Tabelle 5 : Formale Klassifizierung ganzzahliger linearer Investitionsprogrammplanungsmodelle nach Datenstrukturen

Problemlasse/ übliche Bezeichn.	Koeffiz. z_{tj}	RHS M_t	Typ d. Nebenb.	Zielf. C_i	Variable
Lorie-Savage ¹⁾	≥ 0	≥ 0	\leq	≥ 0	ganzzahl.
Capital Budgeting/ Dean 2)	≥ 0	≤ 0	\leq	≤ 0	ganzzahl.
Isolierte Inv. programmpl./ Albach I 3)	beliebig	≤ 0	beliebig	≥ 0	gemischt-ganzzahl.
Simultane Inv.-u. Fin.programmplanung/ Hax-Weingartner 4)	beliebig	beliebig	beliebig	≥ 0	gemischt-ganzzahl.

(RHS = Begrenzungsvektor (Right Hand Side))

Rein ganzzahlig und zudem ursprünglich binär sind die Probleme vom "Lorie-Savage-" oder "Capital-Budgeting-Typ". Es handelt sich dabei um spezielle Ausprägungen des mehrdimensionalen Knapsack-Problems.⁵⁾

- 1) Vgl. Lorie, J.H./Savage, L.J.: Three Problems in Rationing Capital, a.a.O. - Vgl. auch Weingartner, H.M.; Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting, a.a.O., S. 16
- 2) Bei einer Formulierung des Ansatzes von Dean, J.; Capital Budgeting, a.a.O. als lineares Optimierungsmodell
- 3) Vgl. Albach, H.; Investition und Liquidität, a.a.O., S. 84 ff
- 4) Vgl. Hax, H.; Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O.
- 5) Zur Einteilung der Knapsack-Probleme und mögliche Lösungsmethoden vgl. Kästing, H.; Verfahren zur Lösung des Knapsackproblems, Diss. Darmstadt 1977. - Vgl. auch Weingartner, H.M./Neess, D.M.; Methods for the Solution of the Multidimensional 0/1 Knapsack Problem, in: OR Vol. 15 (1967), S. 83-103 und Herroelen, W.S.; Heuristic Methods for the Multidimensional Knapsack Problem, in: Economic applogique T. 27 (1974) S. 353-371

Formal hat dieses Problem folgende Struktur:¹⁾

$$\begin{aligned}
 (1) \quad z &= \sum_i C_i x_i && \Rightarrow \max \\
 (2) \quad \sum_j z_{tj} x_j &\leq M_t && \text{für alle } t \\
 (3) \quad x_j &\in \{0, 1, \dots, \bar{x}_j\} && | N^0 \\
 (4) \quad z_{tj} &\geq 0
 \end{aligned}$$

Es bedeuten: C_i = Ziel funktionsbeitrag des Projektes i

z_{tj} = Ressourcenverbrauch von Projekt i in der Nebenbedingung t

x_i = Handlungsvariable des Projektes i , das maximal \bar{x}_i mal realisiert werden kann.

"It concerns itself with the problem of choosing among independent investment possibilities in such a way so as to maximize total payoff from the chosen investments subject to constraints on the available cash in two or more distinct period."²⁾ Dieses einfache Investitionsprogrammplanungsmodell läßt sich auf den Fall der simultanen Betrachtung von Investitionen und Krediten übertragen (Capital Budgeting Problem), sofern in den Liquiditätsbedingungen nur Auszahlungen von Investitionen und Einzahlungen von Krediten betrachtet werden.

Zur Lösung solcher multidimensionaler Knapsack-Probleme sind eine Reihe formal-orientierter Heuristiken entwickelt worden. Meist ordnen diese Verfahren die Variablen nach der Maßgabe einer einfachen Prioritätsregel, die wie folgt aufgebaut ist:³⁾

- 1) Vgl. etwa Weingartner, H.M.; Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems, a.a.O., S. 16 f
- 2) Kaplan, S.; Solution of the Lorie-Savage and Similar Integer Programming Problems by the Generalized Lagrange Multiplier Method, in: OR Vol. 14 (1966), S. 1130-1136, hier S. 1130
- 3) Vgl. die Verfahrensbeschreibungen in den Abschnitten 6.2.1.2 und 6.2.1.4

Zielfunktionswert des Projekts 1

(Gewichteter) Restriktionsbedarf des Projektes 1

Bei der Lösung von Programmplanungsmodellen versagen diese Verfahren dann, wenn

- die vollständigen Projekt-Zahlungsreihen bei der Planung berücksichtigt werden, die ja sowohl aus negativen wie aus positiven Elementen bestehen;
- nicht der Zielfunktionswert aller Investitionen und Kredite ungleich Null ist, das heißt (bei Maximierung des Endvermögens) wenn nicht alle Projekte auch in der letzten Periode des Ergebnishorizonts noch zu einer Ausbeziehungsweise Einzahlung führen.

Für komplexe Budgetprobleme, etwa des Hax/Weingartner-Typs sind diese heuristischen Lösungsverfahren somit nicht verwendbar.

6.2.1.2 Ein verkürztes Branch-and-Bound Verfahren

Branch-and-Bound-Verfahren beziehungsweise Verfahren der impliziten Enumeration bilden heute die Grundlage aller kommerziell angebotenen Lösungsprogramme für GLP-Probleme. 1)

Diese Programmsysteme verzichten in vielen Fällen auf die Ermittlung der garantiert optimalen Lösung, da der Nachweis der Optimalität oft mehr Rechenzeit benötigt als das Finden der optimalen Lösung. 2) Diesen, oben schon erwähnten Tatbestand versuchen die "praktisch orientierten" Verfahren dadurch zu berücksichtigen, daß sie den Lösungsprozeß mit Hilfe von heuristischen Kriterien abkürzen. 3) "Entsprechende heuristi-

1) Vgl. Abschnitt 2.3.2

2) Vgl. Rungtaldier, W.: Ganzzahlige, Null-Fins- und Gemischt-Ganzzahlige Programmierung im Zusammenhang mit der Branch and Bound-Technik, a.a.O., S. 118 ff

3) Vgl. Balas, E./Martin, C.H.: Pivot and Complement - A Heuristic for 0-1 Programming, Management Science Report No. 414, Carnegie-Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania 1978, S. 1

sche Kriterien zum Kappen von Entscheidungsbäumen beziehen sich u.a. auf die Beschränkung der Rechenzeit, auf die Festsetzung von Obergrenzen für die Zahl der zu entwickelnden Knoten im gesamten Baum bzw. innerhalb der einzelnen Zweige, auf die Beschränkung der insgesamt zu untersuchenden Zweige oder auf die Verschärfung einer unteren Grenze zum Verwerfen von Teillösungsmengen. 1) Fortgeschrittene Methoden versuchen aus der kontinuierlichen Lösung mittels "penalties" einen möglichst realistischen oberen Bound abzuleiten 2) und brechen den Lösungsprozeß ab, wenn eine erreichte zulässige Lösung nicht mehr als $x\%$ von dieser oberen Grenze entfernt ist. 3) Durch diese heuristischen Modifikationen von an sich algorithmischen Verfahren wird die erforderliche Rechenzeit in aller Regel erheblich verkürzt. "Derartige (indirekte) heuristische Modifikationen bestehender exakter Entscheidungsbaumverfahren können jedoch nicht als eigenständige heuristische Verfahren bezeichnet und nur in Ausnahmefällen zur heuristischen Lösung allgemeiner GLP-Probleme empfohlen werden." 4) Gegenüber Algorithmen besteht der einzige Vorteil dieser Verfahren in Rechenzeiterparnissen. Da sie sehr kompliziert aufgebaut sind und unter anderem schwierige mathematische 5) und datentechnische Operationen 6) erfordern, sind sie vom Anwender selbst nur in Ausnahmefällen zu programmieren und zu implementieren.

1) Gallus, G.: Heuristische Verfahren zur Lösung allgemeiner ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, a.a.O., S. 93

2) Zum Konzept der "penalties" vgl. Nevert, P./Suhl, U.: Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., S. 116 ff, speziell S. 120 ff

3) Vgl. etwa APEXIII der Firma CDC

4) Gallus, G.: Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung allgemeiner ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, a.a.O., S. 93

5) Zur Ermittlung der kontinuierlichen Lösung verwenden diese Ansätze zumeist Algorithmen der Linearen Programmierung.

6) Effiziente Entscheidungsbaumverfahren erfordern unter anderem sehr fortgeschrittene Speichertechniken. Vgl. Suhl, U.: Implementationsstechniken für einen Branch-and-Bound-Algorithmus zur Lösung von (0-1)-Programmen, a.a.O.

In der Folge werden nur solche formal-orientierten Heuristischen erörtert, die nicht auf der Basis von LP-Routinen arbeiten, da unterstellt wird, daß Anwender schon bei der Implementierung solcher Routinen aufgrund der erforderlichen Speicher- und Rechenstechniken überfordert sind.

Heuristische "verkürzte Entscheidungsbaumverfahren" unterscheiden sich in ihren algorithmischen Pendants also nicht nur durch eine heuristische Abbruchvorschrift zur Verkürzung des Lösungsprozesses, sondern auch durch einen geringeren Implementierungsaufwand. Für heuristische Verfahren ist es zudem erforderlich, daß zulässige gute Lösungen schnell, das heißt in den ersten Schritten erzeugt werden, da in aller Regel die Abbruchvorschrift starr vorgegeben wird (zum Beispiel Rechenzeit, Lösungsschritte). Demgegenüber ist es bei Algorithmen nicht erforderlich, daß die ersten Lösungen zulässig und von hoher Qualität sind, da der Abbruch sich an den Lösungseigenschaften orientiert und die Verfahrensgüte weniger von den Eigenschaften der ersten Lösungen als vielmehr von der Gesamtzahl der untersuchten Knoten (Selektionswirkung) abhängt.

Die "verkürzten Entscheidungsbaumverfahren" gehören zu der Gruppe der Vorausschauregelverfahren, da sie nicht nur die Variablen nach der Maßgabe einer Prioritätsregel ordnen, sondern eine Vorausschaurechnung durchführen. Bei diesen Verfahren wird "die Entscheidung über den Aufbau einer Lösung von solchen Kriterien abhängig gemacht, die die Folgen einer Entscheidung auf die Gesamtlösung rechtzeitig aufzudecken versuchen."¹⁾

Als Beispiel für ein "verkürztes Entscheidungsbaumverfahren" wird im folgenden ein Vorschlag von Suhl beschrieben,²⁾ der

1) Müller-Merbach, H.: Heuristische Verfahren und Entscheidungsbaumverfahren, a.a.O., Sp. 1817

2) Vgl. Suhl, U.: Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung von (0-1)-Programmen mit nicht-negativen Koeffizienten, a.a.O., S. 34 ff

nach Tests seines Konstrukteurs "in sehr kurzer Zeit gute Lösungen" erzeugt.¹⁾ Formuliert wurde dieses Verfahren für binäre GLP-Probleme mit nicht-negativen Koeffizienten. In der Investitionsprogrammplanung ist dieser Ansatz damit nur für Probleme des "Lorie-Savage-Typs" und der "Capital-Budgeting-Form" anwendbar. Andere, explizit als heuristisch bezeichnete Entscheidungsbaumverfahren sind dem Verfasser nicht bekannt, lassen sich aus den Algorithmen aber ableiten.

Bei dem Vorschlag von Suhl handelt es sich um einen "primären impliziten Enumerationsalgorithmus mit LIFO-Strategie, der (theoretisch) in der Lage ist, eine optimale Lösung ... zu bestimmen."²⁾

Die Schritte des Verfahrens verdeutlicht das Flußdiagramm der Abbildung 40. Zunächst werden die Variablen nach der Maßgabe einer einfachen Prioritätsregel³⁾

Zielfunktionswert von Projekt i
i (Zahlung in Periode t / Finanzmittel in Periode t)

geordnet. In dieser Reihenfolge werden die Projekte dann solange in das Programm aufgenommen, bis ihr Finanzbedarf die noch verfügbaren Finanzmittel übersteigt beziehungsweise die Abschätzung signalisiert, daß die Aufnahme des betrachteten Projekts nicht lohnend ist.

1) Vgl. Suhl, U.: Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung von (0-1)-Programmen mit nicht-negativen Koeffizienten, a.a.O., S. 36

2) Ebendort, S. 34

3) Hier erläutert für ein Problem des Lorie-Savage-Typs

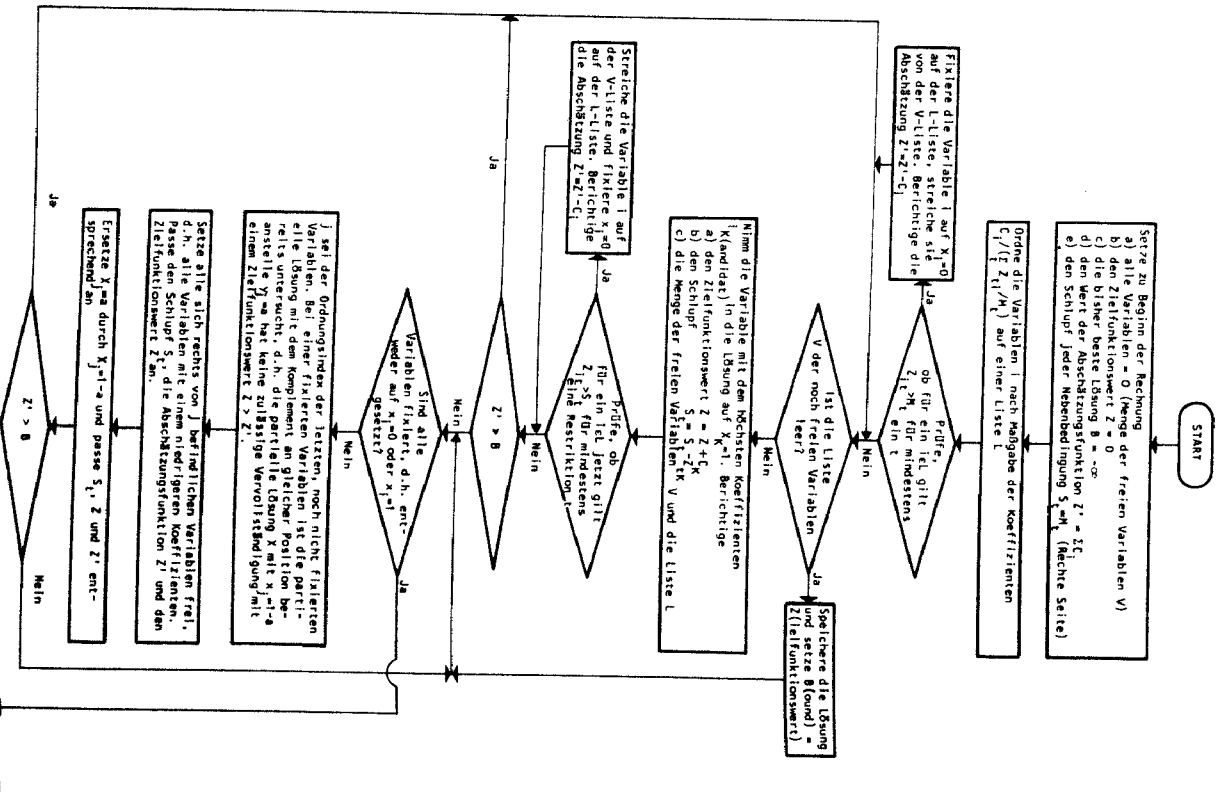


Abb. 40: Flussdiagramm des verkürzten Entscheidungsbaumverfahrens von Suhl

Der Ablauf des Verfahrens wird in Abbildung 41 an einem Beispiel erläutert. ¹⁾

Suhl gibt selbst kein heuristisches Abbruchkriterium an, sondern empfiehlt eine Begrenzung der Rechenzeit, da das Verfahren eine gute Anfangslösung ermittelt und diese schnell verbessert. Bei der Durchrechnung des Beispiels wurde die Anzahl der zu entwickelnden Knoten auf die Zahl der Projekte begrenzt. ²⁾

Der Konstrukteur hat sein Verfahren an einer Reihe von zufällig erzeugten Problemen getestet und mit der Heuristik von Toyoda ³⁾ verglichen, wobei für beide Methoden fortschrittliche Implementationsstechniken verwendet wurden. ⁴⁾ Nach diesen Tests ist das verkürzte Entscheidungsbaumverfahren dem Gradientenverfahren von Toyoda sowohl in Bezug auf die Lösungsgüte als auch bezüglich der Rechenzeit überlegen. ⁵⁾

Der Verfasser hat das Verfahren von Suhl auf eine Reihe einfacher Beispiele aus der Investitionsliteratur angewandt

1) Zum Beispiel vgl. Ramalingam, P.A.: A Branch Select Algorithm for the Capital Budgeting Problem with Interrelated Projects, Paper presented at the Joint National Conference on Major Systems, Anaheim (California) 1971.
 Vgl. auch Herroelen, W.S.; Heuristic Methods for the Multidimensional 0/1 Knapsack Problem, a.a.O., S. 309
 2) Zu einem ähnlichen Vorgehen vgl. Herroelen, W.S., ebendort S. 360
 3) Vgl. Toyoda, Y.; A Simplified Algorithm for Obtaining Approximate Solutions to Zero-One Programming Problems, a.a.O.
 Für die Tests wurden von Suhl sowohl die ursprüngliche Version wie auch eine Verfahrensbewandlung verwendet, bei der die Variablen nach Maßgabe der Prioritätsregel $C_j / (z_j / M_j)$ sortiert wurden.
 4) Vgl. dazu auch Suhl, U.; Implementationsstechniken für einen Branch-and-Bound-Algorithmus zur Lösung von (0-1)-Programmen, a.a.O.,
 5) Zu den Details des Tests vgl. Suhl, U.; Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung von (0-1)-Programmen mit nicht-negativen Koeffizienten, a.a.O., S. 37 ff

Ausgangsdaten des Beispiels:

Projekt	1	2	3	4	5	6	7	8	M_k
c_j	10	40	20	80	30	50	40	60	
z_{1j}	6	2	3	4	9	1	5	6	24
z_{2j}	2	8	2	6	3	7	6	5	30

1. Schritt: Ordnung der Variablen nach Höhe der Koeffizienten c_j

Projekt	4	6	8	2	3	7	5	1
Koeffiz.	120	180	144	114	104	98	63	31

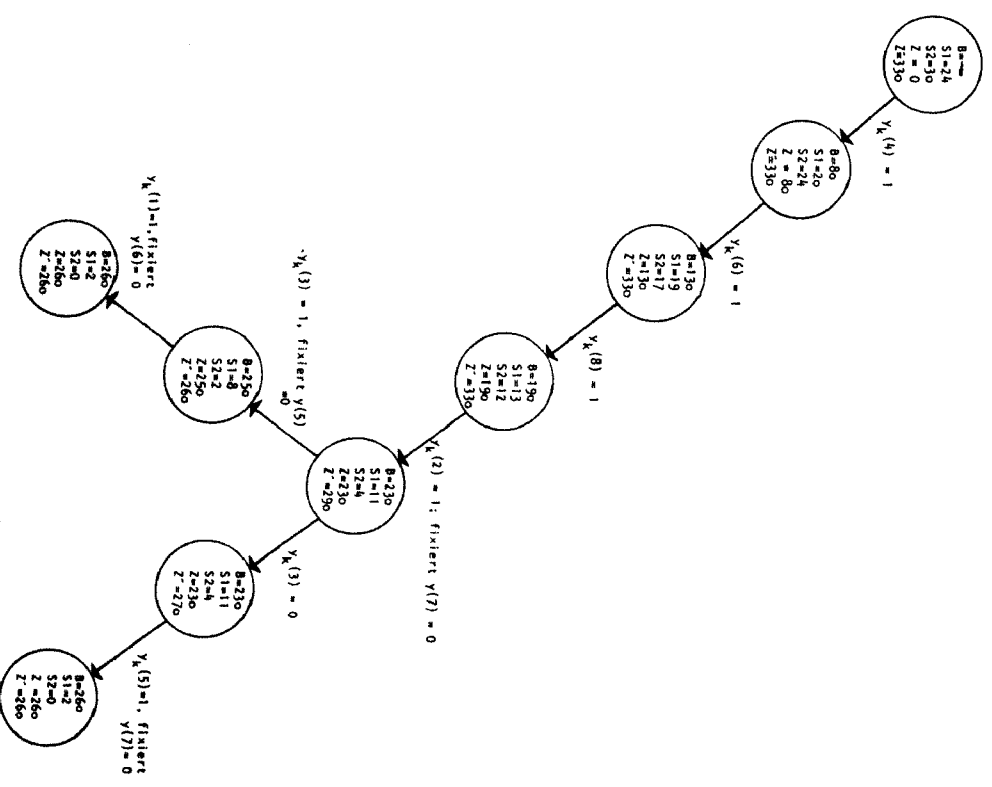
$$c_j = \frac{z_{1j}}{M_1} + \frac{z_{2j}}{M_2}$$


Abb. 41: Rechengang des "verkürzten Entscheidungsbaumverfahrens" von Suhl, dargestellt an einem einfachen Beispiel des Lorie/Savage Typs

und dabei jeweils die optimale Lösung erreicht. ¹⁾

6.2.1.3. Direkte Suchverfahren

Die größte Gruppe von formalen Heuristiken stellen die direkten Suchverfahren dar. Solche Verfahren, die in einem iterativen Suchprozess von einer gegebenen Ausgangslösung aus "eine Folge von unmittelbar aufeinander aufbauenden, stets ganzzahligen Bezugslösungen mit monoton steigendem Zielfunktionswert" ²⁾ bilden, werden unter anderem vorgeschlagen von Reiter/Sherman (1965) ³⁾, Reiter/Rice (1966) ⁴⁾, Echols/Cooper (1968) ⁵⁾, Kreuzberger (1968) ⁶⁾, Hillier (1969) ⁷⁾, Miller-Merbach (1969) ⁸⁾, Biondi/Schmid (1969) ⁹⁾, Roth (1970) ¹⁰⁾,

- 1) Diese Probleme waren das Lorie-Savage-Problem, das Augmented Lorie-Savage-Problem und das 28-Projekt-Problem von Weintraubner & Nees. Vgl. zu den Problemstellungen Herroelen, W.S.: Heuristic Methods for the Multidimensional 0/1 Knapsack Problem, a.a.O., S. 309 f
- 2) Gallus, G.: Heuristische Verfahren zur Lösung allgemeiner ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, a.a.O., S. 94
- 3) Vgl. Reiter, S./Sherman, G.: Discrete Optimizing, in: Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, Vol. 13 (1965), S. 864-889
- 4) Vgl. Reiter, S./Rice, D.B.: Discrete Optimizing Solution Procedures for Linear and Nonlinear Integer Programming Problems, in: MS Vol. 12 (1966), S. 829-850
- 5) Vgl. Echols, R.E./Cooper, L.: Solution of Integer Linear Programming Problems by Direct Search, in: Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 15 (1968), S. 75-84
- 6) Vgl. Kreuzberger, H.: Ein Näherungsverfahren zur Bestimmung ganzzahliger Lösungen bei linearen Optimierungsproblemen, in: Ablauf- und Planungsforschung 9, Jg. (1968), S. 137-152. Vgl. auch derselbe; Verfahren zur Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, Diss. Darmstadt 1969, besonders S. 61 und derselbe; Numerische Erfahrungen mit einem heuristischen Verfahren zur Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, in: EDV 12, Jg. (1970), S. 289-306
- 7) Vgl. Hillier, F.S.: Efficient Heuristic Procedures for Integer Linear Programming with an Interior, in: OR Vol. 17 (1969), S. 600-637
- 8) Vgl. Miller-Merbach, H.: Das Verfahren der "vorläufigen Annäherung" - Eine heuristische Methode zur Lösung gewisser Probleme der ganzzahligen Planungsrechnung, in: EDV 11, Jg. (1969), S. 564-566
- 9) Vgl. Roth, R.H.: An Approach to Solving Linear Discrete Optimization Problems, in: Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 17 (1970), S. 303-313
- 10) Vgl. Biondi, E./Schmid, R.: An Approximate Algorithm for Discrete Linear Programming, in: IEEE Transactions and Systems Science and Cybernetics, Vol. 5 (1969), S. 65-70

Brocklehurst (1972) ¹⁾, Ibaraki/Ohashi/Mine (1974) ²⁾ und Wolter (1976) ³⁾. Zusammenfassende Darstellungen dieser Verfahren finden sich bei Garfinkel/Nemhauser (1972) ⁴⁾ und Müller-Werbach (1973) ⁵⁾.

Alle diese Ansätze sind einheitlich aufgebaut: In einem ersten Schritt wird eine Ausgangs-Bezugslösung ermittelt. Einige Verfahren verwenden dazu das gerundete, kontinuierliche Optimum, ⁶⁾ das mit Hilfe der Simplex-Methode ermittelt wird. Andere Heuristiken gehen von vornherein von einer zulässigen ganzzahligen Lösung aus, im einfachsten Fall vom Koordinatensprung. ⁷⁾

Im folgenden sollen nur solche heuristischen Programme betrachtet werden, die keine LP-Routine verwenden und daher geringere algorithm- und datenverarbeitungstechnische Anforderungen stellen.

In einem zweiten Schritt suchen die Verfahren die Nachbarschaft der Bezugslösung nach weiteren zulässigen, ganzzahligen Lösungen ab. Die einzelnen Ansätze unterscheiden sich unter anderem darin, wie sie diese Nachbarschaften definieren. Einfache Verfahren ändern die vorhandene Lösung dazu in

- 1) Vgl. Brocklehurst, E.R.; A Heuristic Algorithm for Integer Linear Programming Problems, in: NPL Report NAC 18 (1972) Middlesex, England
- 2) Vgl. Ibaraki, T./Ohashi, T./Mine, H.; A Heuristic Algorithm for Mixed Integer Programming Problems, in: Mathematical Programming Study 2 (1974), S. 115-136
- 3) Vgl. Wolter, H.; Heuristische Verfahren zur näherungsweise Lösung ganzzahliger Linearer Optimierungsprobleme, Diss. Leuna-Merseburg 1976
- 4) Vgl. Garfinkel, R.S./Nemhauser, G.L.; Integer Programming, New York-London-Sydney-Toronto 1972, S. 324-338
- 5) Vgl. Müller-Werbach, H.; Operations Research, a.a.O., S. 391-395
- 6) Vgl. etwa Hillier (1969) und Ibaraki/Ohashi/Mine (1974)
- 7) Vgl. etwa Müller-Werbach (1969) und (1973)

genau einer Variablen ab (Ein-Variablen-Suche), ¹⁾ komplexe Ansätze versuchen hingegen, gleichzeitig mehrere Variable zielgerichtet zu verändern. ²⁾ "Die Auswahl dieser Variablen erfolgt bei allen Autoren auf der Grundlage des 'Greatest Change Kriteriums' der Simplex-Methode." ³⁾ Unterschiedliche Ansichten haben die Verfahrenskonstrukteure hingegen bei der Bestimmung der Schrittweite, also bei der Wahl des Betrages, um den die ausgewählten Variablen zu ändern sind. Im Sinne einer "vorsichtigen Annäherung" ⁴⁾ wählen die meisten Verfahren kleine Änderungen, nur wenige Konstrukteure bevorzugen große Schrittweiten. ⁵⁾

Nach Abschluß dieses Eröffnungsverfahrens existiert eine zulässige, ganzzahlige Lösung, die sich mit der bisher verwendeten Methode nicht mehr verbessern läßt. Die meisten Autoren schlagen für diese Phase eine oder mehrere Verbesserungsmethoden vor, etwa die Wahl größerer Nachbarschaften (Mehr-Variablen-Suche), ⁶⁾ Austauschoperationen ⁷⁾ oder willkürliche Verkleinerungen von Variablenwerten nicht-mehr verbesserungsfähiger Lösungen und einem anschließenden erneuten Start des Suchprozesses. ⁸⁾ Dieser Verbesserungsprozess ist unter Umständen sehr viel rechenaufwendiger als das Eröffnungsverfahren. Die Wahl eines günstigen heuristischen Ab-

- 1) Vgl. etwa Müller-Werbach (1969, 1973) und Wolter (1976)
- 2) Vgl. Reiter/Rice (1966) und Kreuzberger (1968, 1969, 1970)
- 3) Gallus, G.; Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung allgemeiner ganzzahliger Linearer Optimierungsprobleme, a.a.O., S. 98. Kreuzberger verwendet 'Steepest Unit Ascent'.
- 4) Müller-Werbach gibt seinen Verfahren diesen Namen. Vgl. derselbe (1969, 1973).
- 5) Vgl. etwa Garfinkel/Nemhauser (1972) und Kreuzberger (1968, 1969, 1970)
- 6) Vgl. etwa Echols/Cooper (1968), Hillier (1969)
- 7) Vgl. Kreuzberger (1968, 1969, 1970), dessen gesamtes Verfahren stark auf einfachen und kombinatorischen Austauschoperationen basiert.
- 8) Vgl. Echols/Cooper (1968)

bruchkriteriums bestimmt daher entscheidend die Lösungsgüte und den Lösungsaufwand der jeweiligen Heuristik.

Aus praktischen Gründen wird es in der Regel unmöglich sein, den Verbesserungsprozess erst dann zu beenden, wenn alle Variablen auf ihre Fähigkeit zur Lösungsverbesserung überprüft wurden.¹⁾

Einer Anwendung der direkten Suchverfahren auf Investitionsprogrammplanungsprobleme stehen nach Erfahrung des Verfassers folgende Schwierigkeiten entgegen:

(1) Erfordern die Verfahren zur Bestimmung der Ausgangslösung eine LP-Routine, so erscheint die anschließende Verwendung einer vom Anwender zu erstellenden Heuristik nicht attraktiv, da deren Leistungsfähigkeit in aller Regel geringer sein wird als wenn der Anwender von vornherein eine LP-Standardsoftware in Verbindung mit einer "Mixed-Integer-Procedure" verwendet.

(2) Die Bestimmung einer Ausgangslösung ohne ein bekanntes kontinuierliches Optimum macht bei der Variablen- und Koeffizientenstruktur insbesondere von Modellen des Hax/Weingartner-Typs Schwierigkeiten. Der Start im Koordinatensprung, also die Verwendung der Nulllösung, führt in vielen Fällen in die Irre.

(3) Dies resultiert unter anderem aus der Variablenauswahl nach dem 'Greatest Change Kriterium'. Zu bestimmen ist danach für jede Variable "das Produkt aus dem Zielfunktionskoeffizienten und dem kleinsten nicht-negativen ganzzahligen Koeffizienten aus den Elementen der rechten Seite und den Koeffizienten der betrachteten Variablen."²⁾

1) Vgl. Kreuzberger (1968), S. 154 und Streim, H.: Heuristische Lösungsverfahren - Versuch einer Begriffsklärung, a.a.O., S. 154 d

2) Müller-Merbach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 392

Probleme der Hax/Weingartner-Struktur sind in der Regel dadurch gekennzeichnet, daß

- viele Variable einen Zielfunktionskoeffizienten von 'Null' haben¹⁾ beziehungsweise dieser bei Krediten negativ ist;
- viele Projekte nicht in allen Perioden (= Liquiditätsbedingungen) Ein- oder Auszahlungen verursachen;
- die rechte Seite der Nebenbedingungen (Kapitaleinlage beziehungsweise Entnahmen des Investors) nur einen Bruchteil der jeweiligen Projektzahlungen darstellen, so daß der entsprechende, ganzzahlige Quotient Null wird.

Diese formalen Eigenschaften, die durch die ökonomische Struktur von Investitions- und Finanzierungszahlungsreihen begründet sind, machen das 'Greatest Change Kriterium' zu seiner einfachen Form für Investitionsprogrammplanungsprobleme nur begrenzt verwertbar.

(4) Für die Lösung von 0-1-Problemen sind direkte Suchverfahren nur wenig oder gar nicht geeignet.²⁾ Eine Lösung von gemischt-ganzzahligen Problemen ist zwar möglich, ohne Verwendung von LP-Routinen für den kontinuierlichen Teil aber wenig effizient.³⁾ Für Investitionsplanungsprobleme ist jedoch kennzeichnend, daß einige der alternativen Projekte nur einmal oder gar nicht durchgeführt werden sollen, während andere Alternativen (zum Beispiel Kredite) bis zu einer gewissen Höhe in beliebiger Stückelung realisiert werden können.

1) Vgl. etwa die Formulierung eines solchen Modells bei Blohm, H./Licker, K.: Investition, a.a.O., S. 241 f

2) Vgl. Müller-Merbach, H.: Das Verfahren der "vorsichtigen Annäherung", a.a.O., S. 566

3) Vgl. Eberhard und Wolter, H.: Heuristische Verfahren zur näherungsweise Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, a.a.O., S. 26 ff

Vorteile gegenüber anderen Heuristiktypen haben die direkten Suchverfahren

- (a) bei kleinen Problemen bis etwa zu einer Größe von 10 Variablen und 10 Restriktionen, ¹⁾ da "die Rechenzeiten zur Lösung der Probleme mit Hilfe der Näherungsverfahren wesentlich von der Anzahl der Variablen abhängen." ²⁾ Die erforderlichen Rechenzeiten steigen dabei mit der Zahl der Variablen und Nebenbedingungen steil an, ³⁾ dieser Anstieg ist sehr viel stärker als etwa bei den Gradientenverfahren. ⁴⁾ Diese Eigenschaft verstärkt sich, wenn das direkte Suchverfahren eine Simplex-Routine verwendet. Die Lösungsgüte der Verfahren übersteigt die von Gradientenverfahren. ⁶⁾

(b) in der Verbindung mit gemischt-ganzzahligen Optimierungsalgorithmen, die aus einer Verbindung von LP- und Branch-and-Bound-Routinen bestehen. Da hier die erforderliche kontinuierliche Lösung sowie ermittelt werden muß, können die Suchverfahren ihre heuristische Kraft voll aus-

- 1) An solchen kleinen und nur bedingt repräsentativen Problemen testen die meisten Autoren ihre Verfahren. Vgl. etwa Kreuzberger, H.; Nugent, H.; Heuristische Verfahren zur Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, a.a.O., S. 303 ff und Wolter, H.; Heuristische Verfahren zur näherungsweise Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, a.a.O., S. 41 ff.
- 2) Vgl. zu diesem Gesichtspunkt auch Ignizio, J.P./Wyskida, J.R./Wilhelm, M.R.; A Rationale for Heuristic Program Selection and Evaluation, in: Industrial Engineering Vol. 4 (1972), S. 16-20 und Abschnitt 6.3.5 dieser Arbeit.
- 3) Kreuzberger, H.; Numerische Erfahrungen ..., a.a.O., S. 305
- 4) Vgl. derselbe, S. 304 f
- 5) Vgl. Zanakis, St.H.; Heuristic O-1 Linear Programming: An Experimental Comparison of three Methods, in: MS Vol. 24 (1977), S. 91-104, hier S. 95, S. 99, S. 100
- 6) Vgl. derselbe, S. 100

spielen. Von dem direkten Suchverfahren von Hillier ¹⁾ wird berichtet, ²⁾ daß eine Verbindung mit einem Optimierungsalgorithmus "can solve 'realistic' capital budgeting problems to within 1-5 % of the continuous optimum in less than 1/10 of the time required by any branch-and-bound ... code to achieve the same goal." ³⁾

Da Programmplanungsprobleme meist recht viele Variablen umfassen, zudem die erwähnten Schwierigkeiten mit der Prioritätsregel auftreten und die Verwendung heuristischer Lösungsverfahren gerade dann sinnvoll erscheint, wenn die Voraussetzungen für Algorithmen nicht gegeben sind, ist eine Lösung der hier betrachteten Probleme mit direkten Suchverfahren nur in Ausnahmefällen sinnvoll.

Der Aufbau direkter Suchverfahren wird im folgenden anhand des Ansatzes von Wolter ⁴⁾ erläutert, der weitgehend dem Verfahren der "vorsichtigen Annäherung" von Müller-Merbach ⁵⁾ entspricht.

Das Verfahren läuft in folgenden Schritten ab:

O. Schritt: a) Formuliere das vorhandene Problem in einem gemischt-ganzzahligen Modell der Form:

- 1) Vgl. Hillier, F.S.; Efficient Heuristic Procedures for Integer Linear Programming with an Interior, a.a.O.,
- 2) Vgl. Jeroslow, R.G./Smith, T.H.C.; Experimental Results on Hillier's Linear Search, in: Mathematical Programming Vol. 9 (1975), S. 371-376
- 3) Zanakis, St.H.; Heuristic ..., a.a.O., S. 100 ff
- 4) Vgl. Wolter, H.; Heuristische Verfahren zur näherungsweise Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, a.a.O., S. 8 ff
- 5) Vgl. Müller-Merbach, H.; Das Verfahren der "vorsichtigen Annäherung", a.a.O., und derselbe, Operations Research, a.a.O., S. 391-393

$$C_T = \sum_i z_{Ti} x_i \quad \Rightarrow \text{max}$$

$$\sum_i z_{Ti} x_i \leq M_t \quad \text{für alle } t = 1, 2, \dots, T$$

$$x_i \geq 0 \quad \text{für } i \in K$$

$$x_i \geq 0 \quad \text{und ganzzahlig für } i \in G$$

mit $z_{Ti} \neq 0$ für alle $i \in G \cup K$

$$M_t \neq 0 \quad \text{für alle } t = 1, 2, \dots, T-1$$

b) Bestimme eine Ausgangslösung $\bar{x}^0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_{T-1}^0)$ und berechne

$$S_T^0 = C_T + \sum_i z_{Ti} x_i$$

$$S_O^0 = M_t - \sum_i z_{Ti} x_i$$

1. Schritt: Überprüfe die Zulässigkeit der vorliegenden Lösung

a) Schlupf S_t für $t = 1, 2, \dots, T-1$ ≥ 0 , so ist die Lösung zulässig. Verwende die Ursprungszielsetzung und gehe zu Schritt 2.

b) Schlupf $S_t \leq 0$ für mindestens ein $t=1, 2, \dots, T-1$, so ist die Lösung unzulässig. Bestimme die engste Nebenbedingung $t^V = \min (S_t)$ und konstruiere eine Hilfszielfunktion

$$S_t^V = M_t^V - \sum_{i \in K} z_{Ti}^V x_i \quad \Rightarrow \text{max}$$

Mache das Problem im nächsten Schritt unter Verwendung kontinuierlicher Variablen (= Anpassungsaktivitäten) zulässig.

2. Schritt: Bestimme die maximal mögliche Änderung Δi und den 'Greatest Change' G_i für alle Variablen i mit $z_{Ti}^V \neq 0$.

a) Ist $z_{Ti}^V > 0$ (Zielfunktionsverbesserung) so bestimme

$$i = \begin{cases} \min z_{Ti} > 0, S_t > 0 & \left[\frac{S_t}{z_{Ti}} \right] \quad \text{für alle } i \in G \\ \min z_{Ti} > 0, S_t > 0 & \frac{S_t}{z_{Ti}} \quad \text{für alle } i \in K \end{cases}$$

mit $[] =$ ganzzahliger Bruch.

Gilt für kein t gleichzeitig $z_{Ti} > 0$ und $S_t > 0$, so kann der Wert von x_i beliebig erhöht werden, ohne daß dadurch eine bereits erfüllte Restriktion verletzt werden kann. Gehe dann zu b), sonst zu c).

b) Setze $k = i$ (abzuhändernde Variable) und bestimme den maximalen Abänderungsbetrag als

$$A_k = \begin{cases} - \left[\frac{S_t}{z_{Tj}^V k} \right] & \text{für } k \in G \\ \frac{S_t}{z_{Tj}^V k} & \text{für } k \in K \end{cases}$$

Gehe zu Schritt 6i

c) Ist $z_{Ti}^V < 0$ (Zielfunktionsverschlechterung), so bestimme:

$$\Delta i = \max \left\{ -x_i, \begin{cases} \max z_{Ti} < 0, S > 0 & - \left[\frac{S_t}{z_{Ti}} \right] \quad i \in G \\ \max z_{Ti} < 0, S > 0 & \frac{S_t}{z_{Ti}} \quad i \in K \end{cases} \right.$$

d) Ist $z_{Ti}^V = 0$, so setze $\Delta i = 1$

e) Bestimme für alle i mit $z_{Ti} \neq 0$ den maximal möglichen Zielfunktionszuwachs (Greatest Change)

$$G_i = z_{Ti}^V \Delta i$$

3. Schritt: Bestimme die abzuändernde Variable k durch

$$k = \left\{ i / \max_{z_i \neq 0} G_i \right\}$$

Ist k nicht eindeutig bestimmt, so wähle etwa die Variable mit dem kleinsten Index.

Ist die Ursprungszielsetzung C_r zu maximieren, gehe zu 5), ansonsten zu 4).

4. Schritt: Die aktuelle Lösung \bar{x} ist nicht zulässig. Untersuche, ob die verletzte Restriktion t durch die Wahl von k erfüllt werden kann:

$$S_t^V + G_k \geq 0$$

Setze dann den Abänderungsbetrag

$$A_k = \Delta k /$$

und gehe zu Schritt 6.

5. Schritt: Führe anhand des Greatest Change den Abbruchtest durch. Bestimme dazu ein minimales Abweichungsmaß als:

$$0 \leq \delta \leq \min_{i \in G, t} \frac{|z_i|}{z_i G_t} / z_i \neq 0$$

Je kleiner δ gewählt wird, um so mehr Verbesserungsschritte sind potentiell möglich und desto höher wird der Lösungsaufwand. Bei sehr kleinem δ würde in der Schlussphase des Verfahrens, in der nur noch Änderungen kontinuierlicher Variable möglich sind, ein kontinuierliches Optimierungsproblem durch schrittweise Änderungen jeweils einer Variablen gelöst.

a) Ist $G_k < \delta$ und wird die Ursprungszielsetzung C_r maximiert, so beende das Verfahren und berechne den endgültigen Zielfunktionswert.

b) Ist $G_k < \delta$ und wird eine Ersatzzielgröße S_t maximiert, so kann die Restriktion t vorläufig nicht erfüllt werden. Suche dann eine andere, verletzte Restriktion t^{VV} mit $S_t^{VV} < 0$.

Existiert eine solche nicht, so kann ausgehend von der vorliegenden Ausgangslösung keine zulässige Lösung gefunden werden. Gehe dann zu Schritt 0 und verändere die Ausgangslösung, anderenfalls mit $t^V = t$ zu Schritt 2.

c) Ist $G_k \geq \delta$, so verbessere die aktuelle Lösung mit dem Abänderungsbetrag ¹⁾ für k

$$A_k = \begin{cases} 1, & \text{falls } k \in G \\ (\Delta k / 2), & \text{falls } k \in K \end{cases}$$

6. Schritt: Setze die neuen Werte

$$x_k = x_k + A_k$$

$$S_t = S_t + z_t k A_k \text{ für alle } t = 1, 2, \dots, T$$

Gehe zu Schritt 1.

Die Grundidee dieses Verfahrens, die Erhöhung jeweils der Variablen mit der höchsten Prioritätsziffer (hier des Greatest Change-Kriteriums), läßt sich auch in materiell orientierten Heuristiken verwerten. Der erläuterte Ansatz läßt sich auf komplexe Investitionsprogrammplanungsprobleme hin-gegen nur schwer anwenden:

1) Der Abänderungsbetrag kann auch größer, etwa mit $[\Delta k / 2]$ gewählt werden. Kleine Schritte erhöhen zwar den Lösungsaufwand, verhindern andererseits aber, "das sich das Verfahren schon früh in einer nicht optimalen Ecke verfährt, aus der es mit dem auf je eine Variable bezogenen "Greatest Change"-Kriterium keinen Ausgang gibt." (Müller-Werbach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 393)

Gegeben sei folgendes Problem der simultanen Investitions- und Finanzierungsprogrammplanung: ¹⁾

Projekt	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	Projekthöchstgr.
Inv. 1	- 50	+ 35	+ 10	+ 11	≤ 2, ganzzahlig
Inv. 2	- 40	+ 10	+ 10	+ 27	≤ 2, ganzzahlig
Inv. 3	- 20	+ 2	+ 2	+ 20	≤ 1, ganzzahlig
Inv. 41	-100	+105			≤ 1
Inv. 42		-100	+105		≤ 1
Inv. 43			-100	+105	≤ 1
Kred. 1	+ 40	- 2	- 22	- 21	≤ 1, ganzzahlig
Kred. 21	+100	+105			≤ 1
Kred. 22		+100	-105		≤ 1
Kred. 23			+100	-105	≤ 1
Kapital- einlage M_t	50	10	10	0	

Ziel des Investors ist die Maximierung des Vermögens zum Ende des Planungszeitraums bei Wahrung der Liquidität in allen Perioden.

In der vorliegenden Form läßt sich das Problem nur schlecht mit dem "Verfahren der vorsichtigen Annäherung" lösen, da die Mehrzahl der Variablen keinen positiven Zielfunktionskoeffizienten hat. ²⁾

- 1) Es handelt sich um eine veränderte und auf das Lösungsverfahren zugewandte Form des ursprünglichen Hax-Demonstrationsbeispiels. Vgl. Hax, H.; Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O., S. 443 ff
- 2) Vgl. Müller-Merbach, H.; Das Verfahren der "vorsichtigen Annäherung", a.a.O., S. 565 f und Wolter, H.; Heuristische Verfahren zur näherungsweise Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme, a.a.O., S. 65 - Vgl. dort auch den Vorschlag einer Transformationsmethode, die jedes Problem in ein äquivalentes mit positiven Zielfunktionskoeffizienten umformt.

Da ein vollkommener Kapitalmarkt unterstellt wurde, läßt sich das Problem zu einem rein-ganzzahligen Problem mit mehreren positiven Zielfunktionskoeffizienten umformen: ¹⁾²⁾

$$\begin{aligned}
 176,66 x_1 + 98,1 x_2 + 21,01 x_3 + 105 y_1 &= \max \\
 57,88 x_1 + 46,30x_2 + 23,15 x_3 - 46,3y_1 &= 157,88 \\
 19,30 x_1 + 35,28x_2 + 12,13 x_3 - 44,1y_1 &= 146,86 \\
 8,80 x_1 + 24,78x_2 + 10,03 x_3 + 21 y_1 &= 136,36
 \end{aligned}$$

bei Beachtung der Projekthöchstgrenzen und der Ganzzahligkeit.

Da die Ausgangslösung mit

$$x_1 = 0; x_2 = 0; x_3 = 0; y_1 = 0 \text{ und dem Schlupf}$$

$S_1 = 157,88; S_2 = 146,86; S_3 = 136,36$ zulässig ist, wird die Ursprungszielsetzung maximiert. Die folgende Tabelle stellt den Lösungsweg dar.

- 1) Vgl. zu der hier gewählten Transformationsmethode auch Broyles, J.E.; Compact Formulation of Mathematical Programmes for Financial Planning Problems, in: OR quarterly Vol. 27 (1976), S. 885-893
- 2) Aus Gründen der rechnerischen Vereinfachung wurden die Zielfunktionskoeffizienten mit 100 multipliziert.

Lösungsschritt Nr.

ZF	x ₁	x ₂	x ₃	y ₁	MS	1	2	3	4	5
176,66	98,1	21,01	1,05	max	105	281,66	458,32	556,42	577,43	
Lfg 1	57,88	46,30	23,15	-46,30	157,88	204,18	146,30	88,42	42,12	18,97
Lfg 2	19,30	35,28	12,17	-44,10	146,86	190,96	171,66	152,36	117,08	104,95
Lfg 3	8,80	24,78	10,03	21	136,36	115,36	106,56	97,76	72,98	62,95

Variablenwert	x ₁	x ₂	x ₃	y ₁
x ₁	0	0	1	2
x ₂	0	0	0	1
x ₃	0	0	0	1
y ₁	0	1	1	1

Greatest Change	x ₁	x ₂	x ₃	y ₁
	357,72	529,88	353,22	-
	294,30	392,40	294,3	98,10
	126,06	168,08	126,06	13,07
	630	-	-	21,01

Übertragen auf das ursprüngliche Problem ergibt sich für die ermittelte Lösung folgender vollständiger Finanzplan:

	1	2	3	4
Inv 1	- 50	+ 35	+ 10	+ 11
Inv 1	- 50	+ 35	+ 10	+ 11
Inv 2	- 40	+ 10	+ 10	+ 27
Inv 3	- 20	+ 2	+ 2	+ 20
Kred 1	+ 40	- 2	- 22	- 21
Ergänzungs- investitionen/-kredite	+ 70	- 73,5	+ 3,675	- 3,86
Kapitalein- lage/ -entnahme	50	- 10	- 10	- 10
Endwert				<u>34,14</u>

6.2.1.4 Gradientenverfahren

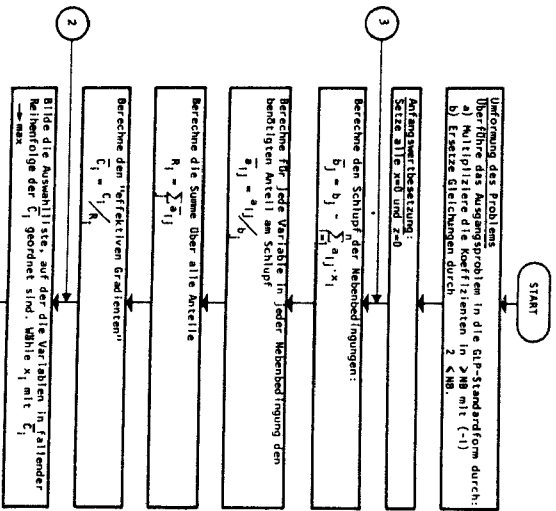
Diese dritte Gruppe der formal-orientierten Heuristiken verwendet als Prioritätsregel den "effektiven Gradienten". Dieses Kriterium errechnet den effektiven Zielfunktionsbeitrag eines Projektes als: 1)

$$G_i = \frac{C_{Ti}}{T_i - 1} \sum_{l=1}^L z_{li} / (M_l - \sum_{i=1}^I z_{li} x_i)$$

Nach dieser Prioritätsregel wird eine Rangfolge der Projekte gebildet. Während das Verfahren von Senju/Toyoda 2) die Variablen nach Maßgabe dieser Rangfolge aus der (unzulässigen) Ausgangslösung eliminiert (Dual Effective Gradient Method), verbessern die Verfahren von Toyoda 3) und Knochenberger/McCarl/Wyman 4) eine zulässige Startlösung durch Aufnahme neuer Variablen (Primal Effective Gradient Methods).

Das Prinzip der Verfahren sei an Hand der letztgenannten Heuristiken erläutert. Diese Methode ist im Unterschied zu den beiden anderen Ansätzen nicht auf multidimensionale Knapsack-Probleme beschränkt, kann also nicht nur Probleme mit Binärvariablen und nicht-negativen Koeffizienten lösen. Diese Eigenschaften machen das Verfahren für Investitionsprogrammplanungsprobleme geeigneter, erhöhen aber auch den erforderlichen Lösungsaufwand, da eine Reihe recht komplexer Abfragen notwendig werden. Die Erweiterung der Gradientenmethoden auf gemischt-ganzzahlige Probleme analog dem Vorgehen bei den di-

- 1) Vgl. Salkin, H.M.; Integer Programming, Reading etc. 1975, S. 510
- 2) Vgl. Senju, S./Toyoda, Y.; An Approach to Linear Programming with 0-1 Variables, a.a.O.
- 3) Vgl. Toyoda, Y.; A Simplified Algorithm for Obtaining Approximate Solutions to Zero-One Programming Problems, a.a.O.
- 4) Vgl. Knochenberger, G.A./McCarl, B.A./Wyman, F.P.; A Heuristic for General Integer Programming, in: Decision Science Vol. 5 (1974), S. 36-44



rekten Suchverfahren ¹⁾ erscheint möglich, ²⁾ ist aber sicher ohne Verwendung von LP-Routinen wenig effizient.

Abbildung 42 stellt den Ablauf des Verfahrens in Form eines Flussdiagramms dar. Das folgende, einfache Beispiel demonstriert das Vorgehen primaler Gradientenverfahren. Gegeben sei das Problem aus Abschnitt 4.3.2.1.2:

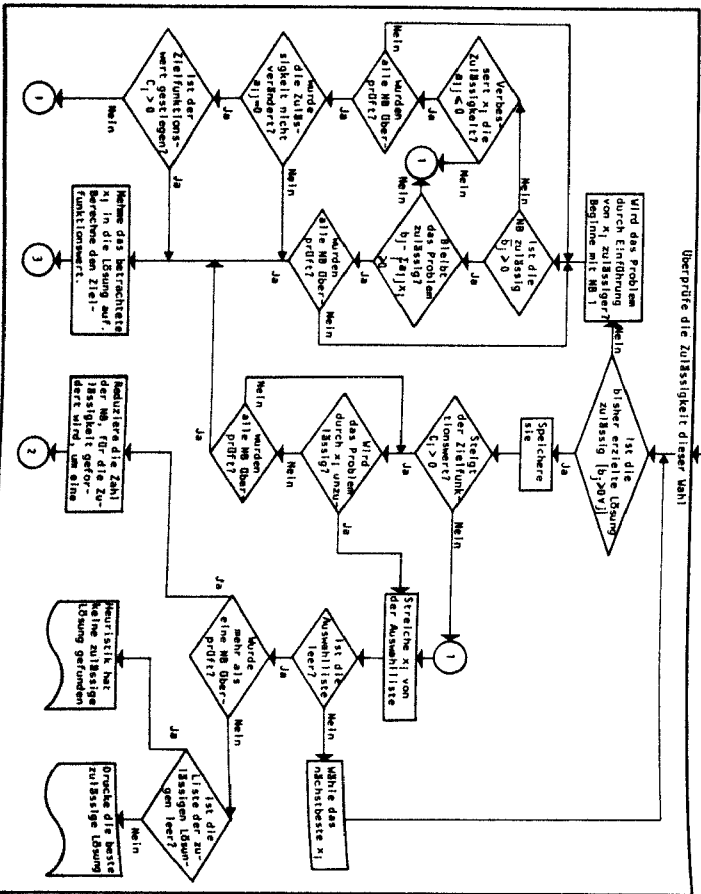
$$\begin{aligned}
 & 10x_1 + 40x_2 + 20x_3 + 80x_4 + 30x_5 + 50x_6 + 40x_7 + 60x_8 \implies \max \\
 & 6x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 9x_5 + 1x_6 + 5x_7 + 6x_8 \leq 24 \\
 & 2x_1 + 8x_2 + 2x_3 + 6x_4 + 3x_5 + 7x_6 + 6x_7 + 5x_8 \leq 30
 \end{aligned}$$

Im Lösungsprozess werden auf der Basis der Beanspruchung der Restriktionen durch die jeweils betrachtete Variable R_1 die effektivsten Gradienten \bar{c}_1 berechnet. Die Variable mit dem höchsten effektiven Gradienten wird ausgewählt und in die Lösung aufgenommen.

Restriktionen	b_j	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
NB 1	24	6	2	3	4	9	1	5	6
NB 2	30	2	8	2	6	3	7	6	5
C_1	max 10	40	40	20	80	30	50	40	60
b_j	a_{1j}	a_{2j}	a_{3j}	a_{4j}	a_{5j}	a_{6j}	a_{7j}	a_{8j}	
NB 1	24	1/4	1/12	1/8	1/6	3/8	1/24	5/24	1/4
NB 2	30	2/30	8/30	2/30	1/5	7/30	1/5	1/5	1/6
R_1	0,316	0,35	0,192	0,366	0,475	0,275	0,408	0,4167	
\bar{c}_1	80	31,58	114,29	104,35	218,18	63,16	181,82	97,96	144

1) Vgl. etwa den 5. Schritt des dargestellten direkten Suchverfahrens.
 2) Vgl. Knochenberger, G.A./McCarl, B.A./Wyman, F.P.; A Heuristic for General Integer Programming, a.a.O., S. 42

Abb. 42: Die Heuristik von Knochenberger/ Mc Carl/ Wyman



Restriktionen	b_j	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
NB 1	20	3/10	1/10	3/20	2/10	9/20	1/20	5/20	6/20
NB 2	24	1/12	1/3	1/12	1/4	1/8	7/24	1/4	5/24
R_1	0,383	0,433	0,233						
C_1	130	26,09	92,31	85,71			52,17	146,34	80
							146,34	80	118,03
2. Auswahl									
NB 1	19	6/19	2/19	3/19			9/19	5/19	6/19
NB 2	17	2/17	8/17	2/17			3/17	6/17	5/17
R_1	0,433	0,576	0,275				0,650	0,616	0,609
C_1	190	23,07	69,46	72,58			46,14	64,92	98,38
3. Auswahl									
NB 1	13	6/13	2/13	3/13			9/13	5/13	
NB 2	12	2/12	8/12	2/12			3/12	6/12	
R_1	0,628	0,821	0,397				0,942	0,885	
C_1	210	15,92	48,75	50,32			31,83	45,22	
4. Auswahl									
NB 1	10	6/10	2/10				9/10	5/10	
NB 2	10	2/10	8/10				3/10	6/10	
R_1	0,8	1,0					1,2	1,1	
C_1	250	12,5	40				25	36,36	
5. Auswahl									
B_j	\bar{a}_{1j}	\bar{a}_{2j}	\bar{a}_{3j}	\bar{a}_{4j}	\bar{a}_{5j}	\bar{a}_{6j}	\bar{a}_{7j}	\bar{a}_{8j}	
NB 1	8	6/8							
NB 2	2	1							
R_1	260								
C_1	260								
6. Auswahl									

In das Programm aufgenommen wurden somit

- Projekt 4 im 1. Verfahrensschritt
- Projekt 6 im 2. Verfahrensschritt
- Projekt 3 im 3. Verfahrensschritt
- Projekt 8 im 4. Verfahrensschritt
- Projekt 2 im 5. Verfahrensschritt

und schließlich bei der Verteilung der Restmittel Projekt 1.

Bis auf das "irregulär" aufgenommene Projekt 1 stehen diese Projekte schon im 1. Schritt an der Spitze der "Gradienten-Rangfolge-Liste". In diesem Beispiel und auch in vielen anderen Fällen ist es möglich, den Verfahrensablauf durch Aufnahme mehr als eines Projektes pro Schritt zu beschleunigen, ohne daß dadurch die Lösung verschlechtert wird.

Nach Aussagen der Verfahrenskonstrukteure und anderer Autoren¹⁾ erreichen die Gradientenverfahren außerordentlich gute

1) Vgl. Zanakis, St.H.: Heuristic O-1 Linear Programming; An Experimental Comparison of three Methods, a.a.O., und Wynn, F.P.: Binary Programming; A decision rule for selecting optimal vs heuristic techniques, in: The Computer Journal Vol. 16 (1973), S. 135-140. Vgl. auch Suhl, U.; Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung von (0-1)-Programmen mit nicht-negativen Koeffizienten, a.a.O.

Suhl berichtet zwar von besseren Ergebnissen für sein Verfahren, gibt diesem aber mehr Rechenzeit und prüft die Möglichkeit, die Lösung zu verbessern

Ergebnisse bei der Lösung von, auch großen, Problemen des Lorie-Savage Typs. Die Abweichung zur Optimallösung unterschreitet bei allen, in der Literatur angegebenen, zum Teil extrem großen Testproblemen 3 %, in der Regel sogar 1 %.¹⁾ Die benötigten Rechenzeiten waren sehr gering und stiegen in der Regel proportional zur Problemgröße.²⁾ "The heuristics results were practically identical to the optimal solutions while requiring about one-tenth the computational effort."³⁾ Da zudem der erforderliche Implementierungsaufwand aufgrund der Einfachheit der Gradientenverfahren sehr gering ist, stellen diese gewissermaßen eine Idealheuristik für Probleme der Lorie-Savage-Struktur dar. Eine Verwendung des Verfahrens in Heuristiken für gemischt-ganzzahlige Probleme erscheint vielversprechend.

6.2.2 Materieell-orientierte heuristische Verfahren

6.2.2.1 Abgrenzung und Einteilung

Eine zweite Gruppe von Heuristiken zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsproblemen versucht, die Mängel der formal-orientierten Verfahren zu vermeiden. Durch Ausnutzung spezieller Problemeigenschaften und durch Übertragung von Erkenntnissen der Investitionstheorie versuchen die Konstrukteure von materieell-orientierten Heuristiken Lösungsverfahren zu konzipieren, deren Anwendungsbereich zwar auf bestimmte Programmplanungsprobleme beschränkt ist, die aber dort bessere Ergebnisse als formal-orientierte Methoden erzielen.

Während formal-orientierte Heuristiken gewissermaßen vereinfachte Algorithmen sind und vergleichbare rechen- und datentechnische Anforderungen stellen, stellen materieell-orientierte

1) Zum Problem des Maßstabs vergleiche Abschnitt 6.4

2) Vgl. etwa Zanakis, St.H.; Heuristics ..., a.a.O., S. 95 und S. 99 ff

3) Wyman, F.P.; Binary Programming, a.a.O., S. 139

tierte Lösungsverfahren Verfeinerungen der traditionellen Investitionsrechenverfahren für komplexere Problemstellungen dar.

Da diese Verfahrensgruppe an den bisher in der Praxis weit verbreiteten Methoden zur ökonomischen Beurteilung von Investitionen anknüpft, ist zu erwarten, daß ihr Entwicklungs-, Implementierungs- und Vermittlungsaufwand den von formal-orientierten Heuristiken unterschreitet. Durch ihre starke Orientierung an den jeweiligen Problemeigenschaften ist für materieell-orientierte Heuristiken zudem eine bessere Lösungs- und Ressourcennächtigkeit¹⁾ zu erwarten.

Eine weitere Eigenschaft materieell-orientierter heuristischer Programme sollte es sein, daß sie unmittelbar an der ökonomischen Problemstellung und nicht erst an der mathematischen Abbildung dieser Aufgabe ansetzen. Es wird also versucht, ein gegebenes Problem durch Entwicklung einer entsprechenden Methode zu lösen und nicht - wie im Operations Research oftmals üblich²⁾ - die Aufgabenstellung so zu formulieren, daß eine Lösung mit einem vorhandenen Verfahren möglich wird. Zusammen mit dem heuristischen Ansatz der Modellkonstruktion bieten die materieellen Heuristiken die Chance, das Primat der mathematischen Methode bei betriebswirtschaftlichen Planungsansätzen durch den Vorrang für die ökonomische Fragestellung zu ersetzen.³⁾

Diesem Ziel entspricht auch eine Klassifizierung der bestehenden Heuristiken nach den materieellen Eigenschaften der zu lösenden Investitionsprogrammplanungsprobleme. Die Einteilung

1) Zu den Begriffen vgl. Meißner, J.D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 20

2) Vgl. dazu Müller-Verbach, H.; Quantitative Entscheidungsvorbereitung - Erwartungen, Enttäuschungen, Chancen; a.a.O., S. 15 ff

3) Vgl. ebendort

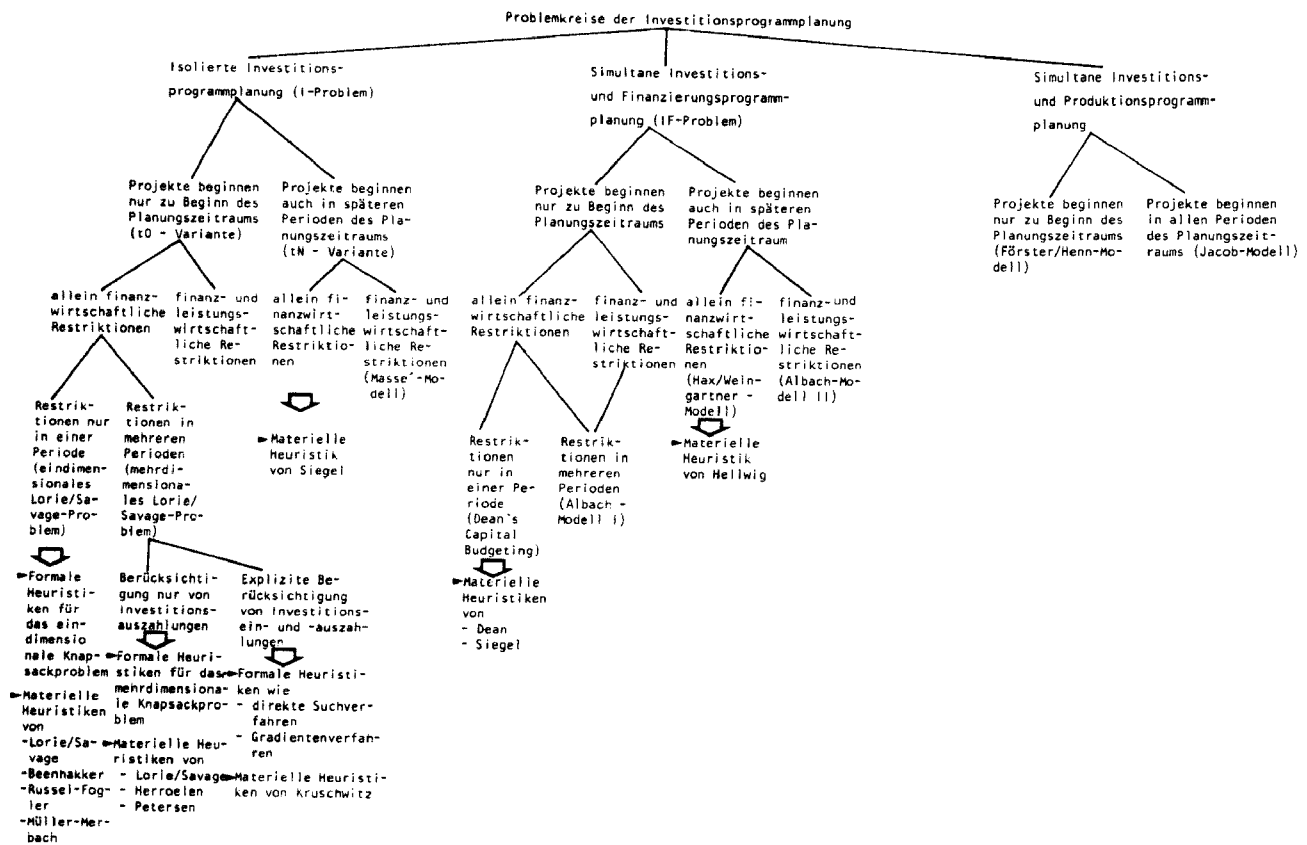


Abb. 43: Problemkreise der Investitionsprogrammplanung und materiell-orientierte Heuristiken

in Abbildung 43 orientiert sich dabei an den in Abschnitt 2 abgeleiteten Gesichtspunkten. Aus dieser Abbildung ergibt sich, daß speziell für einfache Investitionsprogrammplanungsprobleme eine Vielzahl von Heuristiken existieren, während für komplexere Problemstellungen etwa der simultanen Investitions- und Finanzierungsprogrammplanung oder für die Investitionsplanung mit Einbeziehung der Produktionsprogrammplanung kaum Ansätze vorhanden sind. Diese Lücke ist besonders deshalb von Bedeutung, weil - wie abgeleitet - für die einfachen Probleme etwa des Lorie-Savage- oder des Capital-Budgeting-Typs eine Reihe guter und einfacher formal-orientierter Heuristiken zur Verfügung steht. Obwohl somit die vorhandenen materiellen Heuristiken nur in einfachen und damit in vielen Fällen realitätsfernen Entscheidungssituationen anwendbar sind, sollen im folgenden Abschnitt ausgewählte "Einfach-Heuristiken" beschrieben werden. Ziel dieser Beschreibung ist es nicht, diese Verfahren für reale Problemstellungen zu empfehlen. Eine solche Anwendung wird nur in Ausnahmefällen sinnvoll sein. Die Darstellung und Analyse dieser Verfahren soll vielmehr Grundlage für die Entwicklung von materiellen Heuristiken sein, die auch bei komplexeren, realitätsnahen Investitionsplanungsproblemen anwendbar sein sollen.

6.2.2.2 Heuristiken der isolierten Investitionsprogrammplanung

6.2.2.2.1 Alle Projekte beginnen im Startzeitpunkt $t = 0$; finanzieller Engpaß nur in $t = 0$ (eindimensionales Lorie-Savage-Problem)

Das Problem der Verteilung von Finanzmitteln einer bestimmten Höhe auf eine Reihe von Investitionsalternativen, so daß ein finanzielles Ziel maximiert wird, ist solange trivial, so lange für die Investitionsprojekte nicht die Ganzzahligkeit gefordert wird. ¹⁾ "In such cases, investment proposals should be ranked according to their present value - at the firms cost of capital - per dollar of outlay required. Once investment proposals have been ranked according to this criterion, it is easy to select the best group by starting with the investment proposal having the highest present value per dollar of outlay and proceeding down the list until the fixed sum is exhausted." ²⁾

Wird für die Investitionsprojekte Ganzzahligkeit gefordert, wird das Problem formal zum "eindimensionalen Knapsack-Problem", ³⁾ zu dessen Lösung eine Reihe von Algorithmen und formal-orientierten Heuristiken vorgeschlagen worden sind. ⁴⁾ Das im Zitat von Lorie/Savage vorgeschlagene heuristische Prioritätsregelverfahren ⁵⁾ einer Ordnung der Projekte nach

- 1) Vgl. Müller-Werbach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 358
- 2) Lorie, J.H./Savage, L.J.: Three Problems in Rationing Capital, a.a.O., S. 231
- 3) Vgl. Kästing, H.: Verfahren zur Lösung des Knapsackproblems, Diss. Darmstadt 1977, S. 4 ff
- 4) Vgl. etwa Braun, H.: Erweiterungen des Verfahrens von Kravczyk zur Lösung des bivalenten Knapsack-Problems, in: AI 15. Jg. (1973), S. 25-28
- 5) Zum Begriff vgl. Müller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 73 f

Maßgabe ihrer Kapitalwertrate läßt sich für den Fall der Ganzzahligkeit durch ein Iterationsverfahren ¹⁾ ergänzen. Dieses versucht, durch Austausch von bisher im Programm enthaltenen Projekten gegen bisher nicht-aufgenommene eine Lösungsverbesserung zu erreichen. ²⁾

Das Fluddiagramm der Abbildung 44 stellt das einfache Eröffnungsverfahren, die Abbildung 45 das Verbesserungsverfahren dar. ³⁾

Beenhacker ⁴⁾ übt Kritik an dieser Heuristik, weil (1) die Projekttrangfolge nach Maßgabe der Kapitalwertrate falsch sein kann und (2) der anschließende Iterationsprozeß zu rechenaufwendig sei. In seinem heuristischen Verfahren verwendet er daher ein anderes finanzmathematisches Vorteilhaftigkeitskriterium: ⁵⁾ den Barkapitalwert zur Bildung einer Projekttrangfolge. Der anschließende Iterationsprozeß schätzt die Güntigkeit möglicher Tauschoperationen durch Vorausschauregeln vorher ab und läßt zudem den gegenseitigen Austausch von Projektkombinationen zu. Das in Abbildung 46 dargestellte Verfahren ist insgesamt komplexer und damit auch rechenaufwendiger als das Verfahren von Lorie-Savage,

- 1) Zum Begriff vgl. Müller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 73 f
- 2) Vgl. Lorie, J.H./Savage, L.J.: Three Problems in Rationing Capital, a.a.O., S. 231 f
- 3) Die Darstellung von Heuristiken in Fluddiagrammen ist problematisch, weil dadurch bei dem Leser, der im Gebrauch dieser Darstellungstechnik umgeben ist, der Eindruck entstehen kann, das Verfahren sei mathematisch und verarbeitungstechnisch anspruchsvoll. Zudem kann der ökonomische Inhalt der Verfahren durch die Form der Darstellung verdrängt werden. Für diese Darstellungsform spricht ihre Eindeutigkeit und Kürze. Durch die zusätzliche Durchrechnung von einfachen Beispielen wird eine zusätzliche Erläuterung der Verfahren gegeben.
- 4) Vgl. Beenhacker, H.L.: Discounting Indices Proposed for Capital Investment Evaluation: A Further Examination, in: TEE VOL. 18 (1973), S. 149-169, besonders S. 155 ff
- 5) Vgl. zu den unterschiedlichen finanzmathematischen Kriterien Abschnitt 6.3.3

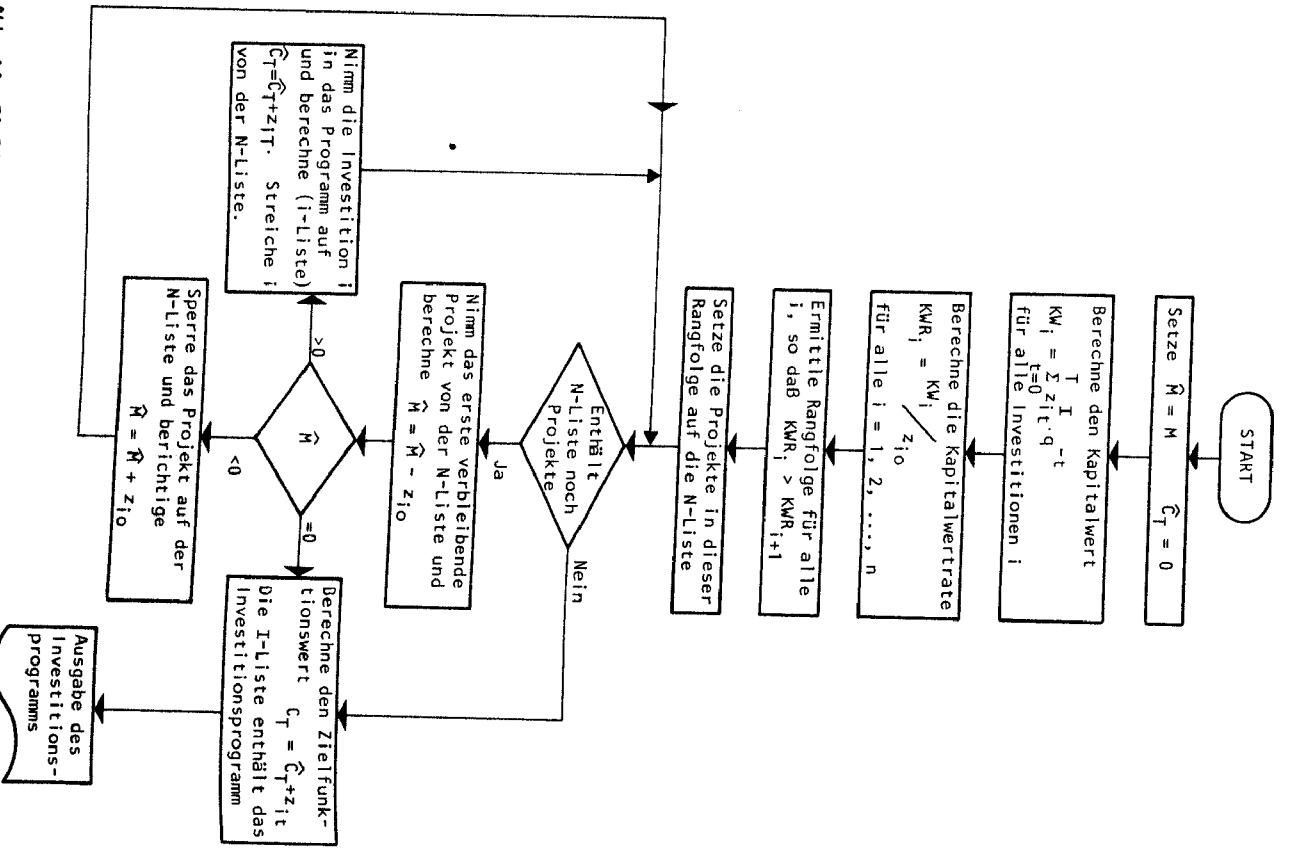


Abb. 44 : Flußdiagramm für ein einfaches Prioritätsregel-
verfahren für das eindimensionale Lorie-Savage Problem

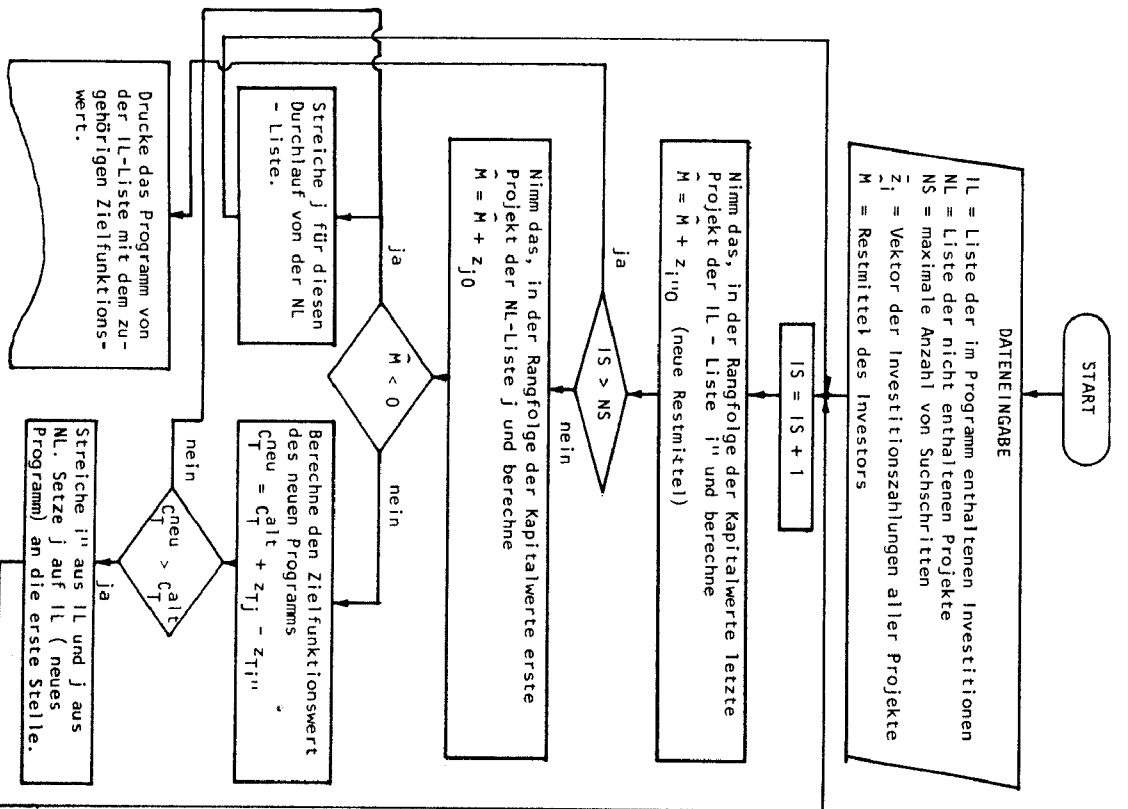


Abb.45 : Flußdiagramm eines einfachen Iterationsverfahrens für das
eindimensionale Lorie - Savage - Problem

wird aber speziell bei großen Problemen auch bessere Lösungen erreichen.

Beide Verfahren werden unten an einem einfachen Beispiel erläutert.¹⁾

Das in beiden Heuristiken verwendete Prinzip, zunächst auf der Grundlage eines finanzmathematischen Kriteriums eine Rangfolge der Projekte zu bilden und das so gebildete Investitionsprogramm durch anschließende Tauschoperationen zu verbessern suchen, ist eines von zwei Grundprinzipien materieller Heuristiken der Investitionsplanung.

Beispiel zur verbesserten Heuristik von Lorie-Savage mit dem Iterationsverfahren von Müller-Merbach:

Problem (nach Beenakker)²⁾

Projekt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BK ₁	400	350	500	300	180	160	100	40	20	10
Z ₀₁	600	650	500	300	120	90	100	60	50	50 = 750

Stufe I: Eröffnungsverfahren

1. Schritt: Bilden der Rangfolge der Projekte nach Maßgabe ihrer KWRate KWR

Projekt	6	5	7	4	3	8	1	2	9	10
KWR ₁	1,78	1,5	1	1	1	0,66	0,66	0,54	0,4	0,2
Z ₀₁	90	120	100	300	500	60	600	650	50	50

1) Vgl. zum Beispiel Beenakker, H.L.: Discounting Indices Proposed for Capital Investment Evaluation, a.a.O., S. 157
 2) Vgl. ebendort

2. Schritt: Aufnahme der Projekte nach der gebildeten Rangfolge, bis die Nebenbedingung verletzt wird (I-Liste)

Projekt	6	5	7	4
BK ₁	160	340	440	740
Z ₀₁	90	210	310	610

3. Schritt: Arbeite die Projektliste weiter ab mit dem Ziel, die unausgenutzten Restmittel zu verwenden

Zusätzliche Projekte	8	9	
BK ₁	780	800	
Z ₀₁	670	730	

Das Investitionsprogramm enthält die Projekte (4,5,6,7,8,9) und erzielt einen Zielfunktionswert von 830, — DM

Die Liste der nicht-aufgenommenen Projekte enthält also die Projekte (1,2,3,10)

Stufe II: Anwendung des Iterationsverfahrens

I-Liste

Projekt	6	5	7	4	8	9
BK ₁	160	180	100	300	40	20
Z ₀₁	90	120	100	300	60	50

NI-Liste

Projekt	3	1	2	10
BK ₁	500	400	350	10
Z ₀₁	500	600	650	50

1. Schritt: Eintausch des ersten Projektes der NI-Liste (Projekt 3) gegen ein Projekt der I-Liste

⇒ nicht möglich, da Z₀₁ Z₀₁-I-Liste-1

Es ist ebenfalls aus dem gleichen Grunde nicht möglich, die Projekte 1 und 2 einzutauschen. Möglich ist allein der Eintausch von Projekt 10.

2. Schritt: Eintausch von Projekt 10 gegen das letzte Projekt der I-Liste (Projekt 9)

Dieser Eintausch ist möglich und führt zu einem Zielfunktionswert von

$$Z_{\text{neu}} = 800 - 20 + 10 = 790$$

$$Z_{\text{alt}} - BKW_9 + BKW_{10}$$

$$M_{\text{neu}} = 730 - 50 + 50 = 730$$

Da dieser Eintausch keine neuen Verbesserungsmöglichkeiten ermöglicht und gegenüber dem ursprünglichen Programm einen niedrigeren Zielfunktionswert erbringt, hat das einfache Iterationsverfahren keine Verbesserung erbracht. Gewählt wird also das durch das Eröffnungsverfahren ermittelte Investitionsprogramm.

3. Schritt: Bestimmung der bei einem Eintausch eines I-Projektes von der I-Liste zu streichenden Projekte:

I-Projekt	zu streichendes I-Projekt
1	6, 5, 3
2	6, 5, 3
4	6, 5, 3
7	6

4. Schritt: Bestimmung der nach dem 3. Schritt alternativen I-Listen (II-Listen)

I-Projekt + I-Projekt	Zo _I	BKW _I
1	600	400
2	350	600
4	300	300
7	720	780

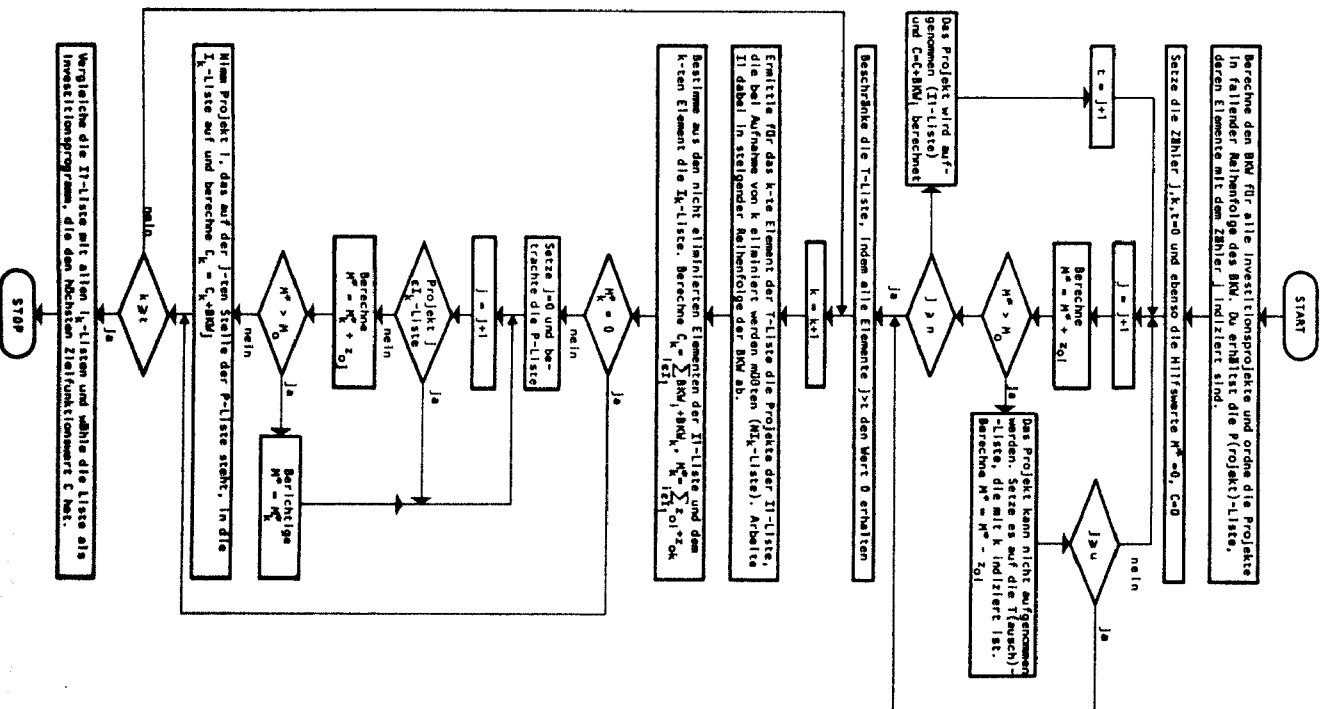


Abb. 46 : Flussdiagramm der Heuristik von Beenhacker

5. Schritt: Stelle für alternative IT-Listen alternative Listen der verbleibenden Projekte auf. Grundlage sei die P-Liste

IT-Projekt	von der P-Liste noch zulässige Projekte	BKW ₁	Zo ₁
1	5		
BKW ₁	400 580	580	720
Zo ₁	600 720		
2	6		
BKW ₁	350 510	510	690
Zo ₁	600 690		
4	5 6 7 8 9		
BKW ₁	300 480 640 740 780 800	800	730
Zo ₁	300 420 510 610 670 730		
7	5 3		
BKW ₁	100 280 780	780	720
Zo ₁	100 220 720		

6. Schritt: Wähle unter den (6) ermittelten Programmen das mit dem höchsten Zielfunktionswert. Realisiere also die Projekte 4,5,6,7,8,9 mit einem Zielfunktionswert von 800 GE.

Beispiel für das Verfahren von Beenhakker:

Problem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Projekt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BKW ₁	400	350	500	300	180	160	100	40	20	10
Zo ₁	600	650	500	300	120	90	100	60	50	50
										= 750

1. Schritt: Bilden der Rangfolge nach Maßgabe der BKW (P-Liste)

Projekt	3	1	2	4	5	6	7	8	9	10
BKW ₁	500	400	350	300	180	160	100	40	20	10
Zo ₁	500	600	650	300	120	90	100	60	50	50

2. Schritt: Abarbeiten der Projektliste und Bildung der I-Liste

Projekt	3	1	2	4	5	6	7	8	9	10
Aufnahme möglich	ja	nein	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein	nein
BKW ₁	500	500	500	500	680	840	840	840	840	840
Zo ₁	500	500	500	500	620	710	710	710	710	710

I-Liste also:

Projekt	3	5	6	840 Zielfunktionswert	nach Eröffnungs-
BKW ₁	500	180	160	840 Zielfunktionswert	schrift
Zo ₁	500	120	90	710 Ressourcenbeanspruchung	

3. Schritt: Bestimmung des Grenzprojektes und Bildung der T-Liste (Begrenzung = Grenzprojekt + das folgende Projekt)

Grenzprojekt = 6; Folgeprojekt = 7

T-Liste:	1	2	4	7
Projekt	1	2	4	7
BKW ₁	400	350	300	100
Zo ₁	600	650	300	100

4. Schritt: Bestimmung der bei einem Eintausch eines T-Projektes von der I-Liste zu streichenden Projekte

T-Projekt	zu streichendes I-Projekt
1	6, 5, 3
2	6, 5, 3
4	6, 5, 3
7	6

5. Schritt: Bestimmung der nach dem 4. Schritt alternativen I-Listen (TI-Listen)

I-Projekt + I-Projekt		Zo ₁	BKW ₁
1	-	600	400
2	-	350	600
4	-	300	300
7	5,3	720	780

6. Schritt: Stelle für alternative TI-Listen alternative Listen der verbleibenden Projekte auf. Grundlage sei die P-Liste

I-Projekt		von der P-Liste noch zulässige Projekte			BKW ₁	Zo ₁
1	5					
BKW ₁	400	580				
Zo ₁	600	720			580	720
2	6					
BKW ₁	350	510				
Zo ₁	600	690			510	690
4	5	6	7	8	9	
BKW ₁	300	480	640	740	780	800
Zo ₁	300	420	510	610	670	730
7	5	3				
BKW ₁	100	280	780			
Zo ₁	100	220	720		780	720

7. Schritt: Wähle unter den (6) ermittelten Programmen das mit dem höchsten Zielfunktionswert. Realisiere also die Projekte 4,5,6,7,8,9 mit einem Zielfunktionswert von 800 GE.

6.2.2.2.2 Alle Projekte beginnen im Startzeitpunkt $t = 0$;
 Finanzlieller Engpaß in mehreren Perioden
 (mehrdimensionales Lorie-Savage Problem)

Ein weiteres Prinzip materieller Investitionsplanungshorizonten wird in dem folgenden Verfahren von Lorie-Savage verwendet. Es besteht darin, den Kalkulationszinssatz als Grenzkapitalkostensatz zu interpretieren und ihn so abzuschätzen, daß die Liquiditätsbedingungen in allen Planperioden eingehalten werden. Da der "richtige" Kalkulationszinssatz erst nach Lösung des Problems feststeht, schlagen die Autoren folgendes Probierverfahren vor: ¹⁾

(1) Berechne im ersten Schritt für alle Investitionen den Wert $\beta_1 = C_1 - \sum_t z_t I_t \cdot \lambda_t$ (I)

mit C_i = Kapitalwert der Investition i
 λ_t = Faktor der Liquiditätsbedingung t
 (willkürlich gewählt)

(2) Nimm alle Projekte in das Programm auf, für die β_1 positiv ist. Berechne das verbrauchte Kapital in jeder Periode t .

(3) Übersteigt dieses das in der Periode t zur Verfügung stehende Kapital M_t , so erhöhe λ_t . Andernfalls verringere λ_t .

(4) Berechne den Zielfunktionswert $\sum_i C_i$. Ist eine Lösungsverbesserung noch möglich, gehe zu (1), sonst beende das Verfahren.

¹⁾ Vgl. Lorie, J.H./Savage, L.J.: Three Problems in Rationing Capital, a.a.O., S. 132 ff

Die Autoren machen keine Aussage darüber, wie die Faktoren λ_t zu wählen und im Laufe des Lösungsprozesses zu verändern sind. In der beschriebenen Form stellt das Verfahren somit keine Heuristik dar.

Es läßt sich nachweisen, daß die Faktoren λ_t im kontinuierlichen Optimum den Dualwerten einer Simplex-Lösung des entsprechenden linearen Programms entsprechen. ¹⁾

Für den Fall zweier Liquiditätsnebenbedingungen können diese Dualwerte auf graphischem Wege abgeschätzt werden. ²⁾ Bei mehreren Nebenbedingungen und für den realistischen Fall nur ganzzahliger Investitionsprojekte sind die optimalen Faktoren vor Lösung des linearen Problems nicht mehr abzuleiten.

Allerdings sind auch in dem ganzzahligen Fall die Faktoren λ_t heuristisch so abschätzbar, daß eine gute Ausnutzung aller Nebenbedingungen und damit eine gute Lösung des Problems erreicht wird. ³⁾ Da die Dualwerte der Optimallösung ökonomisch die Grenzgewinne in Bezug auf die jeweilige Nebenbedingung darstellen, wird vorgeschlagen, sie wie folgt abzuschätzen: ⁴⁾

- 1) Vgl. Weingartner, H.M.: Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems, a.a.O., S. 27 ff. Vgl. auch Abschnitt 6.3.3
- 2) Vgl. ebendort
- 3) Vgl. Everett, H.: Generalized Lagrange Multiplier Method for Solving Problems of Optimum Allocation of Resources, in: OR Vol. 11 (1963), S. 399-417 und Kaplan, S.: Solution of the Lorie-Savage Problem and Similar Integer Programming Problems by the Generalized Lagrange Multiplier Method, in: OR Vol. 14 (1966), S. 1130-1136 sowie Kamlauser, G.L./Mlmann, Z.: A Note on the Generalized Lagrange Multiplier Solution to an Integer Programming Problem, in: OR, Vol. 16 (1968), S. 450-453
- 4) Vgl. Everett, H.: Generalized Lagrange Multiplier ..., a.a.O., S. 405

$$\lambda_t = \frac{Zf^1_t - Zf^2_t}{Nb^1_t - Nb^2_t}$$

mit: Zf^1_t , Zf^2_t = die Zielfunktionswerte zweier willkürlich gewählter Programme, die die Nebenbedingungen annähernd ausnutzen.

Nb^1_t , Nb^2_t = die absolute Beanspruchung der Nebenbedingung t durch die beiden Programme.

Im Rahmen eines "trial and error" Prozesses können die Schritte (2) - (4) solange mit jeweils kleiner Variation der Faktoren wiederholt werden, bis eine befriedigende Lösung des Problems erreicht wurde. ¹⁾ "Although the above procedure is no guarantee that an optimal solution to the original problem has been found, it may perfectly adequate since in practise, budget constraints are usually not binding to the extent implied in the problem formulation." ²⁾ Dennoch empfiehlt es sich aufgrund der bei Ganzzahligkeitsbedingungen geltenden Einschränkungen für Dualwerte, die Lösungsgüte der Heuristik durch ein nachgeschaltetes Iterationsverfahren zu verbessern.

Eine modifizierte Form der Lorie-Savage-Heuristik ist in dem Fluiddiagramm der Abbildung 47 dargestellt. Zur ersten Abschätzung der Faktoren λ_t werden die Investitionen nach Maßgabe der "Kapitalwertrentabilität" ³⁾ $C_1 / \sum z_{it}$ geordnet ⁴⁾

- 1) Vgl. dazu auch Abschnitt 6.3.3 und das Verfahren von Hellwig, K.: Die approximative Bestimmung optimaler Investitionsprogramme, in: ZfBf 28, Jg. (1976), S. 166-171. Hellwig schlägt dort ein Verfahren vor, wie die maximale Abweichung der bisher erreichten Lösung vom Optimum bestimmt werden kann und somit der Suchprozess begrenzt werden kann.
- 2) Kaplan, S.: Solution of the Lorie-Savage ..., a.a.O., S. 1133
- 3) Dieses Kriterium stimmt nicht mit der Kapitalwertrentabilität von Kruschwitz, L.: Zur heuristischen Optimierung des Investitionsprogramms, a.a.O., S. 216 überein, da dieser den zeitlich unterschiedlichen Anfall der Auszahlungen durch Abzinsung berücksichtigt.
- 4) Ein ähnliches Prioritätsregelverfahren wird als eigenständige Heuristik vorgeschlagen von Fogler, R.H.: Ranking Techniques and Capital Budgeting, in: Accounting Review, Vol. 47 (1972), S. 134-143; derselbe: Vol. 1 (1972), S. 92-96

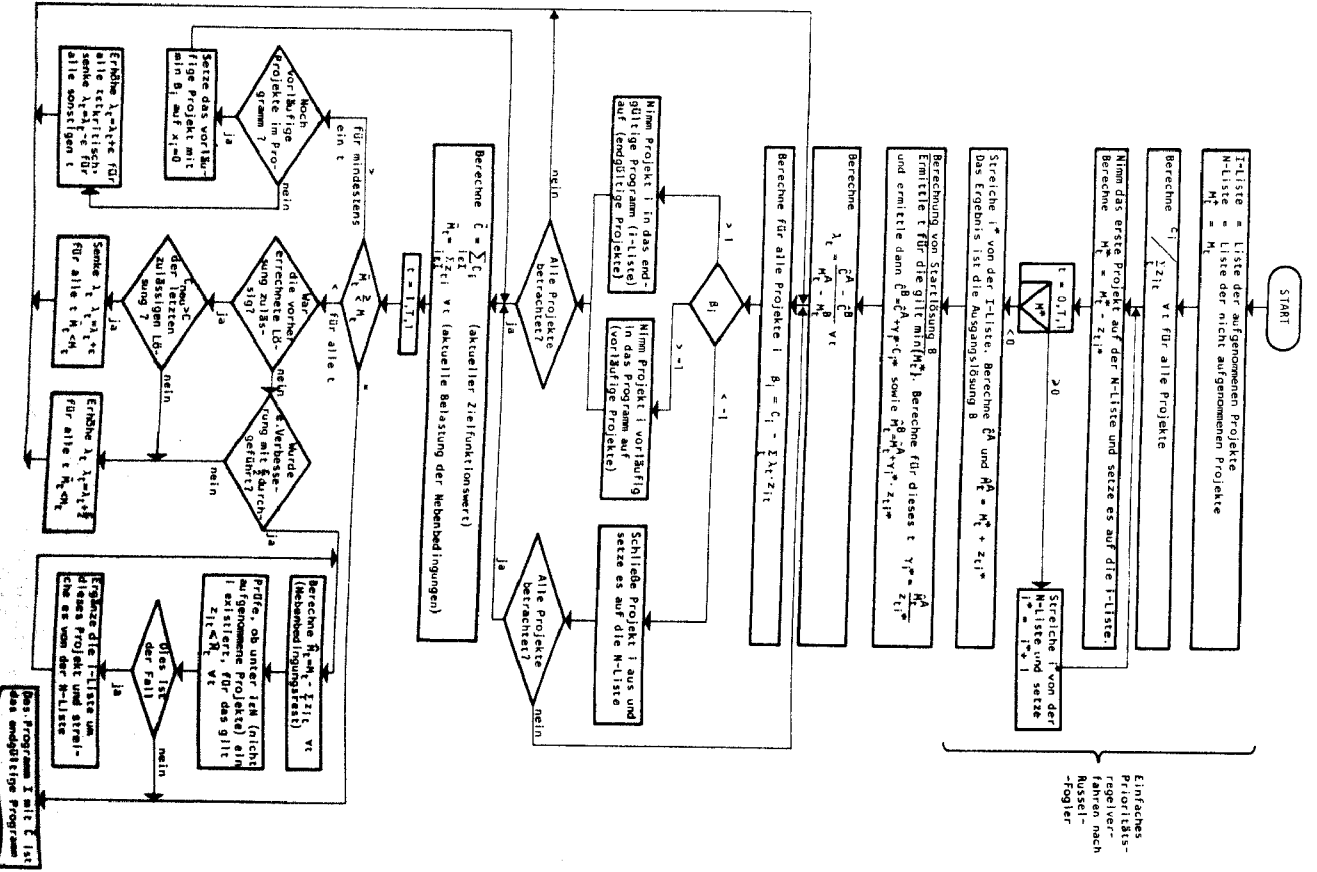


Abb. 47: Flussdiagramm der modifizierten Lorie-Savage Heuristik

und auf dieser Grundlage eine erste zulässige, das heißt ganzzahlige Lösung 2 und eine nur bei Vernachlässigung der Ganzzahligkeit zulässige Lösung 1 ermittelt. Mit Hilfe der Beziehung (II) werden dann die Faktoren λ_i abgeschätzt und die Werte β_i berechnet. Alle Investitionen mit $\beta_i = 1$ werden in das Programm aufgenommen, alle mit $\beta_i < 1$ zunächst ausgeschlossen. 1) Im nächsten Schritt werden die Investitionen mit $0 \leq \beta_i \leq 1$ im Wechsel in das Programm aufgenommen. Die zulässige Lösung mit dem höchsten Zielfunktionswert wird in dem anschließenden Iterationsverfahren verbessert, in dem versucht wird, unausgenutzte Finanzmittel für weitere Investitionen zu verwenden. Das folgende Beispiel erläutert diese Heuristik.

Beispiel zum heuristischen Verfahren von Lorie-Savage

Problem (nach Ramalingam)

Projekt	1	2	3	4	5	6	7	8	Nebenbedingung
KW_1	10	40	20	80	30	50	40	60	
Z_{oi}	6	2	3	4	9	1	5	6	24
Z_{1i}	2	8	2	6	3	7	6	5	30

Optimallösungen des Problems: Lösung 1 = (2,4,5,6,8)
 Lösung 2 = (1,2,3,4,6,8)
 Zielfunktionswert 260

1. Schritt: Ordnen der Projekte nach $KW_1 = \frac{KW_1}{Z_{oi}}$

1) Zu dieser Regel vgl. Kaplan, S.: Solution of the Lorie-Savage and Similar Integer Programming Problems by the Generalized Lagrange Multiplier Method, a.a.O., S. 1132 f

	4	6	8	2	3	7	5	1
KWR ₁	81	62,5	54,54	40	40	36,36	25	12,5
Z ₀₁	4	5	11	13	16			
Z ₁₁	6	13	18	26	28			
KW ₁	80	130	190	230	250			

2. Schritt: Ermittlung zweier Anfangslösungen zur Ermittlung der Bewertungsfaktoren λ_1 und λ_2

1. Lösung: Projekte (4,6,8,2,3,) 2. Lösung: Projekte (4,6,8,2,3,1)
 Zielfunktionswert 250 Zielfunktionswert 260
 Nebenbedingung 1 16 Nebenbedingung 1 22
 Nebenbedingung 2 28 Nebenbedingung 2 30

$$\lambda_1 = \frac{260 - 250}{22 - 16} = 1,66$$

$$\lambda_2 = \frac{260 - 250}{30 - 28} = 5$$

3. Schritt: Berechnung der $\hat{q}_i = KW_i - \sum_{t \in T} \lambda_t \cdot Z_{it}$

Schritt	1	2	3	4	5	6	7	8	NB	ZF	
1	1,666	5	-9,99	-3,33	+5,02	+43,33	40	13,33	1,67	25,00	1:19
	Aufnahme	nein	nein	ja	ja	viel-	ja	ja	ja	2:26	250
						leicht					
2	1,766	4,9	-10,4	-2,73	+4,9	+43,54	-0,594	13,93	1,77	24,9	1:19
	Aufnahme	nein	nein	ja	ja	viel-	ja	ja	ja	2:26	250
						leicht					
3	1,866	4,8	-10,8	2,132	4,8	43,74	-1,194	14,53	1,87	24,8	1:19
	Aufnahme	nein	nein	ja	ja	nein	ja	ja	ja	2:26	250
4	1,966	4,7	-11,19	-1,532	4,7	43,94	-1,794	15,13	1,97	24,7	1:19
	Aufnahme	nein	nein	ja	ja	nein	ja	ja	ja	2:26	250
5	1,666	4,6	-9,2	-0,1	+5,8	45,74	1,206	16,13	4,07	+27	1:28
	Aufnahme	nein	nein	viel-	ja	ja	ja	ja	ja	2:29	250
				leicht							

Nach fünf Schritten hat die Lorie-Savage-Heuristik keine zulässige Verbesserung der Ausgangslösung gefunden. Die - intuitiv - gefundene Lösung von 260,- DM konnte nicht erreicht werden. Ursache dafür ist der kombinatorische Charakter des Problems.

Das zweite Grundprinzip materieller Heuristiken der Investitionsprogrammplanung versucht also, den "zeitlichen Grenzgewinn der Liquidität in jeder Periode" bei einer optimalen Verwendung der Geldmittel zu bestimmen und diese geschätzten "endogenen Zinsfüsse" für die Ableitung der Optimallösung zu benutzen. ¹⁾

Wie die Beispielerrechnung zeigt, führt diese Heuristik von Lorie-Savage trotz mehrfacher Iterationsschritte nicht zum optimalen Ergebnis. Während das einfache Prioritätsregelverfahren zu Beginn der Heuristik zu einer Lösung führt, die durch einen (intuitiven) Verbesserungsschritt ergänzt der Optimallösung entspricht, führt das "Konzept der endogenen Zinsfüsse" auch mit dem anschließenden Iterationsverfahren nicht zum Optimum. Es wird an späterer Stelle zu überprüfen sein, ob sich die These von der relativ geringen Leistungsfähigkeit des zweiten Grundprinzips allgemeiner belegen läßt. ²⁾

Zu recht leistungsfähigen Heuristiken für das mehrdimensionale Lorie-Savage-Problem führt die Verwendung von Elementen formal-orientierter Heuristiken. Herroelen konstruiert zwei solche Verfahren, ³⁾ die sich zwar ursprünglich stark an dem

1) Das Konzept der "endogenen Zinsfüsse" wird ausführlich in Abschnitt 6.3.3.2 erläutert.

2) Vgl. dazu Abschnitt 7

3) Vgl. Herroelen, W.S.: Heuristische programmatische - methodologische bendering en praktische toepassing op complexe combinatorische problemen, a.a.O., S. 83 ff - derselbe; Heuristic Methods for the Multidimensional 0/1 Knapsack Problem, a.a.O., S. 357 ff

materiellen Inhalt des zu lösenden Problems orientieren, in ihrem Aufbau dann aber doch eher formale Operations-Research-Methoden sind. Das eine Verfahren entspricht weitgehend einem "Gradientenverfahren", das zweite einem "verkürzten Entscheidungsbaumverfahren".¹⁾ An 11 aus der Literatur entnommenen Problemen²⁾ testet der Konstrukteur die Güte dieser heuristischen Programme und vergleicht sie mit einem einfachen Prioritätsregelverfahren, das die Projekte nach Maßgabe ihres Kapitalwerts (1. materielles Grundprinzip) in das Programm aufnimmt.³⁾ Auch nach diesen Test ist das Prinzip der Gradientenverfahren den beiden anderen Prinzipien in der erforderlichen Rechenzeit immer überlegen.⁴⁾

Bezüglich des erreichten Zielfunktionswertes im Vergleich zur Optimallösung (Lösungsgüte) schneidet das Gradientenverfahren CAPBUD II bei kleinen Problemen mit 10 beziehungsweise 28 Projekten schlechter ab. "CAPBUD II yields the best results for the two 105-project problems, suggesting that this method yields best results as the number of variables increases."⁵⁾

Als weitere Heuristik für das mehrdimensionale Lorie-Savage-Problem sei das Verfahren von Petersen dargestellt.⁶⁾ Grund dafür ist die neuartige Gestaltung des Iterationsverfahrens. Anders als bei den oben beschriebenen einfachen Verbesserungs-

- 1) Das erste Verfahren nennt der Autor CAPBUD II, das zweite CAPBUD III.
- 2) Zur Problematik dieser Testmethode vgl. Abschnitt 6.4
- 3) Diese Heuristik hat die Bezeichnung CAPBUD I.
- 4) Bei Problemen mit 105 Projekten ist die Rechenzeit des Gradientenverfahrens 5-9 mal geringer!!
- 5) Herroelen, W.S.: Heuristic Methods for the Multidimensional 0/1 Knapsack Problem, a.a.O., S. 367.
- 6) Vgl. Petersen, C.C.: A Capital Budgeting Heuristic Algorithm Using Exchange Operations, in: *AIIE Transactions* Vol. 6 (1974), S. 143-150

methoden werden dabei nicht nur einzelne Projekte, sondern auch Projektkombinationen gegeneinander getauscht.

Die Heuristik erzeugt zunächst durch ein finanzmathematisches Prioritätsregelverfahren eine Ausgangslösung. Im ersten Verbesserungsschritt wird dann versucht, maximal zwei im bisherigen Programm enthaltene Investitionen gegen maximal zwei nicht aufgenommene Projekte zu tauschen. Im zweiten Schritt wird dann der Austausch von bis zu drei Projekten betrachtet. Führt ein Projekttausch zu einem zulässigen Investitionsprogramm mit höherem Zielfunktionswert, so wird diese Lösungsverbesserung sofort realisiert und Grundlage für weitere Tauschversuche. Denkbar wäre auch, die neue Lösung zunächst einmal abzuspeichern und erst einmal die Verbesserungsversuche der alten Ausgangslösung zu beenden.¹⁾

Die Zahl der möglichen Austauschkombinationen ist bei vielen Investitionsalternativen sehr hoch. Um eine vollständige Enumeration zu vermeiden, werden heuristische Dominanzüberlegungen genutzt:

- (1) Die Liste der aufgenommenen (I-Liste) und nicht-aufgenommenen (NI-Liste) Investitionen ist jeweils nach deren Zielfunktionswerten geordnet. Es werden nur Projekte mit positivem Zielbeitrag betrachtet. Werden von den aufgenommenen Alternativen die "schlechtesten zuerst", von den abgelehnten aber die "besten Projekte zuerst" betrachtet, so werden die besten Tauschkombinationen vor allen anderen bearbeitet.
- (2) Da alle Projekte einen positiven Zielfunktionsbeitrag haben, dominiert der Eintausch von n Investitionen der

1) Vgl. Müller-Werdach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 84 f und Abschnitt 6.3

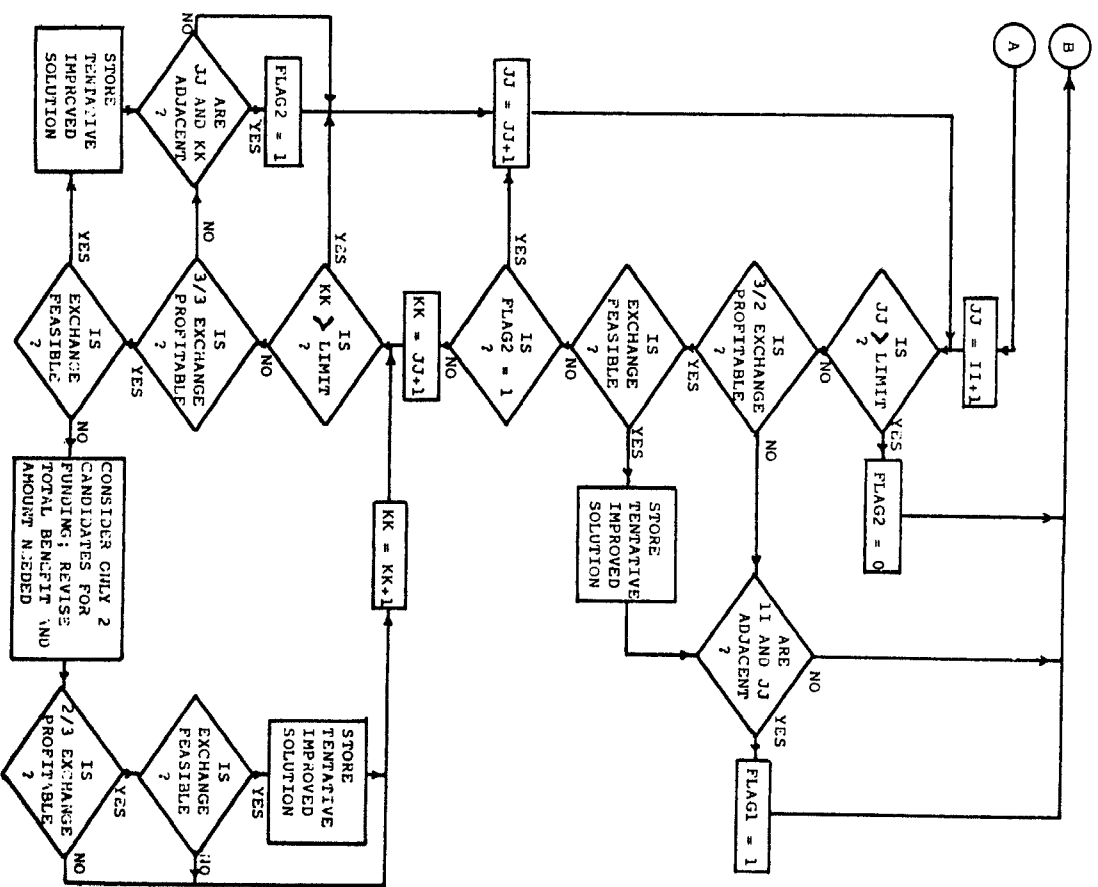
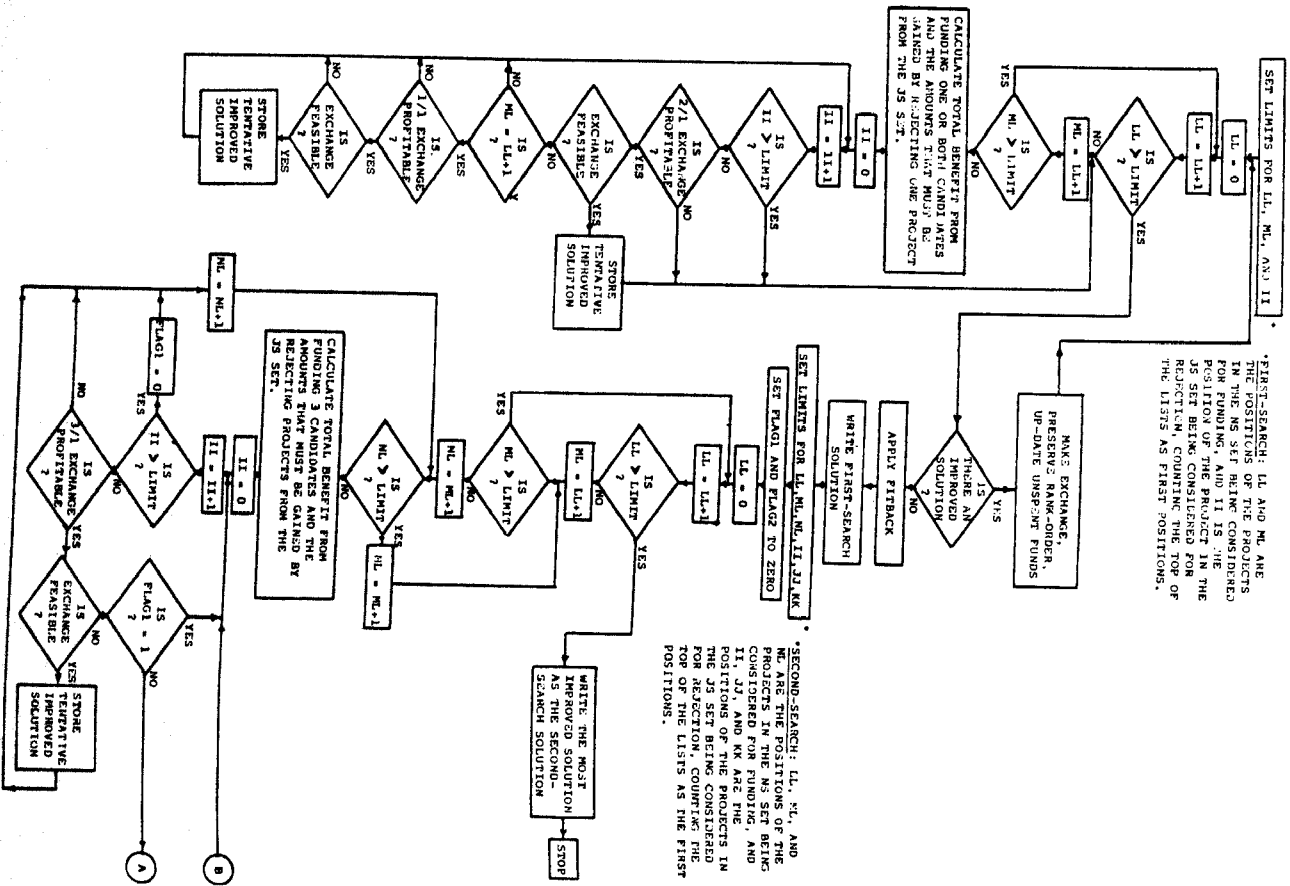


Abb. 48: Das Iterationsverfahren von Petersen (entnommen aus: Petersen, C.C. : A Capital Budgeting Heuristic Using Exchange Operations, a.o., S. 147ff)

NI-Liste gegen 1 Projekt der I-Liste den Eintausch von n-1 Projekten; vorausgesetzt, beide Tauschoperationen sind zulässig. Ist also ein 3/1-Tausch¹⁾ zulässig, so braucht ein 2/1 oder 1/1-Tausch mit den gleichen Projekten nicht mehr betrachtet zu werden.

(3) Die gleiche Dominanzüberlegung läßt sich auch beim "Her-austausch" anstellen. Wenn drei Projekte der NI-Liste nicht die Zielfunktionseinbuße eines Projektes der I-Liste aufwiegen, so sind 3/2 oder 3/3-Tauschoperationen mit dem gleichen Projekt ebenfalls ungünstig.

(4) "An early version of the algorithm showed that 1/2 and 2/2 exchanges were seldom advantageous and could be eliminated."²⁾

Die Heuristik von Petersen wird in Abbildung 48 dargestellt.

Das folgende Beispiel verdeutlicht die Funktionsweise des Verfahrens.

Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms mit der Heuristik von Clifford C. Petersen

Problemmatrix (vgl. Ramallingam)

	1	2	3	4	5	6	7	8	M_t
BKW	100	400	200	800	300	500	400	600	
t=0	6	2	3	4	9	1	5	6	24
t=1	2	8	2	6	3	7	6	5	30

1) Petersen, C.C.: A Capital Budgeting Heuristic Using Exchange Operations, a.a.O., S. 146

(1) Anwendung des Eröffnungsverfahrens

Schritt 1: Berechnung der $\alpha_i = \frac{BKW_i}{Z_{t=1} / 2}$ für alle Projekte

	1	6	8	2	4	3	7	5	1	M_t
α_i	3636,-	2880,-	2286,-	2182,-	2087,-	1959,-	1263,-	632,-		
t=0	1	6	2	4	3	5	9	6	24	
t=1	7	5	8	6	2	6	3	2	30	

Schritt 2: Ordnung der Projekte nach Maßgabe ihrer α_i

Schritt 3: Aufnahme der Projekte bis $M_t \leq 0$ für mindestens eine Nebenbedingung

I-Liste	6	8	2	4	3	1
BKW _i	500	1100	1500	2300	2500	2600
$Z_{t=1}$	1	7	9	13	16	22
$Z_{t=1}$	7	12	20	26	28	30
						Auffüllprojekt

Schritt 4: Auffüllen der I-Liste mit noch nicht aufgenommenen Projekten

(2) Anwendung des Iterationsverfahrens

1. Schritt: Aufstellung der I- und der NI-Liste und Ordnung beider Listen nach der Höhe der BKW der Projekte

I-Liste	4	8	6	2	3	1	M_t
BKW	800	600	500	400	200	100	-Rest
t=0	4	6	1	2	3	6	2
t=1	6	5	7	8	2	2	-

NI-Liste	7	5
BKW	400	300
t=0	5	9
t=1	6	3

2. Schritt: Setzen von Grenzen für die zu betrachtenden Projektpositionen auf der I- und NI-Liste

Da der BKW der Projekte 4, 8 und 6 höher ist als der BKW aller Projekte der NI-Liste, werden nur die letzten 3 Projekte der I-Liste beim Austausch betrachtet.

3. Schritt: Austauschschritte

Da die NI-Liste nur 2 Projekte enthält, werden allein folgende mögliche Austauschoperationen betrachtet: 2/1 - Tausch

1/1 - Tausch

2/3 - Tausch

Folgende Projekte werden betrachtet:

IL = 7 II = 1

ML = 5 JI = 4

KK = 2

3.1: Austausch von (7,5) gegen (1)

Austausch ist profitabel (700 > 100), aber in beiden Nebenbedingungen nicht realisierbar ($14 > 8$ in $t = 0$, $9 > 4$ in $t = 1$).

3.2: Austausch von (7) gegen (1)

Austausch ist profitabel (400 > 100), aber in $t = 1$ nicht realisierbar ($6 > 2$).

3.3: Austausch von (5) gegen (1)

Austausch ist profitabel (300 > 100), aber in $t = 1$ nicht realisierbar ($3 > 2$).

3.4: Austausch von (7,5) gegen (1,3,2)

Austausch ist nicht profitabel (700 = 700).

3.5: Austausch von (7,5) gegen (3)

Austausch ist profitabel (700 > 200), aber in $t = 0$ ($14 > 5$) und in $t = 1$ ($9 > 2$) nicht realisierbar.

3.6: Austausch von (7) gegen (3)

Austausch ist profitabel (400 > 200), aber in $t = 1$ ($6 > 2$) nicht realisierbar.

3.7: Austausch von (5) gegen (3)

Austausch ist profitabel, aber in $t = 0$ ($9 > 5$) und in $t = 1$ ($6 > 2$) nicht realisierbar.

Ergebnis: Ein weiterer profitabler Austauschschritt ist aufgrund der Dominanzüberlegungen nicht möglich. Damit ist eine Verbesserung der Lösung des Eröffnungsverfahrens nicht möglich.¹⁾

Der Konstrukteur hat sein Verfahren an einer Reihe von zufällig erzeugten Problemen getestet.²⁾ Diese Tests an Problemen mit 30 Projekten zeigen, daß das Iterationsverfahren die Lösungsgüte (speziell die Zahl der ermittelten Optimallösungen) stark verbessert. Die erforderliche Rechenzeit steigt zwar steil an, erscheint absolut aber doch gering!

1) Diese Lösung entspricht auch der Optimallösung, vgl. Herroellen, W.: Heuristic Methods for the Multidimensional 0/1-Knapsack-Problem, a.a.O.

2) Zur Testmethodik vgl. Petersen, C.C.: Computational Experiences, Working Paper, das vom Autor auf Anfrage zugesandt wird.

Tabelle 6 : ¹⁾

Lösungsgüte und Rechenzeiten der Heuristik von Petersen, getestet an 28 Problemen mit je 30 Investitionen und 5 Liquiditätsbedingungen

nach Eröffnungsverfahren	Ø prozentuale Abweichung der nicht-optimalen Probleme	Anzahl der ermittelten optimalen Lösungen	Ø Rechenzeit auf einer CDC 6500 Rechenanlage, incl. Ein-/Ausgabezeit
nach 2/1,	2,381	7	0,177
1/1-Tausch	0,878	21	0,441
nach 3/3,			
3/2, 3/1-Tausch	0,487	26	1,277
Optimierungsalgo- rithmus ²⁾		28	6,033

Faßt man die Ergebnisse der verschiedenen Verfahrenstests zusammen, so scheinen für das mehrdimensionale Lorie-Savage-Problem die Gradientenverfahren, gegebenenfalls ergänzt um die Verbesserungsmethode von Petersen, am besten geeignet zu sein. Ein solcher Ansatz ermittelt nur geringfügig schlechtere Lösungen als ein Optimierungsalgorithmus.

1) Entnommen aus Petersen, C.C.: A Capital Budgeting Heuristic Algorithm Using Exchange Operations, a.a.O., S. 150 (vom Verfasser übersetzt)
 2) Verwendet wurde das Entscheidungsbäumeverfahren von Geoffrion, A.M.; in: OR Vol. 17 (1969), S. 437-454

6.2.2.2.3 Alle Projekte beginnen im Startzeitpunkt $t = 0$; explizite Berücksichtigung aller Investitionszahlungen im Planungsmodell (Isolierte Investitionsprogrammplanung auf unvollkommenem, unbeschränktem Kapitalmarkt)

Das jetzt betrachtete Entscheidungsmodell hat formal folgenden Aufbau: ¹⁾

(1) Zu maximieren ist das Vermögen zum Ende des Planungszeitraums:

$$C_T = \sum_{i \in I} z_i r^{x_i} + R_{T-1} (1 + r_T) \implies \max$$
 Investitionszahlungen Finanzaufnahme/Kreditaufnahme d. Vorperiode

(2) Zu beachten sind die Liquiditätsbedingungen für alle Perioden des Planungszeitraums:

$$\sum_{i \in I} z_i x_i + R_{t-1} (1 + r_t) - R_t = M_t - Y_t$$

Inv. budget
Entnahmen

(3) Der Investor agiert an einem unvollkommenen und beschränkten Kapitalmarkt:

$$R_t \leq \begin{cases} S_t, & \text{wenn } R_{t-1} < 0 \text{ (Kreditaufnahme)} \\ h_t, & \text{wenn } R_{t-1} \geq 0 \text{ (Finanzaufnahme)} \end{cases}$$

(Kreditbeschränkung)

(4) Für die Investitionen gilt die binäre Ganzzahligkeitsbedingung:

$$x_i \in \{0, 1\}$$

¹⁾ Zu den Symbolen vgl. Abschnitt 2.3.

Von dem bisher betrachteten Lorie-Savage-Modell unterscheidet sich dieser Ansatz in wesentlichen Punkten:

(a) Das Lorie-Savage-Modell maximiert in seiner Zielvorschrift ein finanzwirtschaftliches Vorteilhaftigkeitskriterium, zumeist den Kapitalwert. Diese Zielgröße wird für jedes Projekt isoliert außerhalb des Entscheidungsmodells errechnet. In der Terminologie von D. Schneider handelt es sich somit um ein "klassisches Partialmodell" mit Kapitalmarktbeschränkungen in den ersten Perioden des Planungszeitraums. ¹⁾ Demgegenüber geht dieser Ansatz von dem abgeleiteten Ziel Vermögenstreben aus und bestimmt die Zielwirkung jedes Projektes innerhalb des Modells.

(b) Beide Modelle machen Pauschalannahmen über einen Teil der Handlungsmöglichkeiten. Dabei geht das Lorie-Savage-Modell davon aus, daß die Investitionen nur in bestimmten, in den Liquiditätsbedingungen erfaßten Perioden Ausgaben verursachen und die Einnahmenüberschüsse späterer Perioden zu einem einheitlichen Habenzins angelegt werden. Bei dem hier betrachteten "Partialmodell mit unvollkommenem Kapitalmarkt" sind hingegen "Ausgabenüberhänge und Einnahmenüberschüsse .. zu jedem Zahlungszeitpunkt möglich." ²⁾ Durch Kreditaufnahme zum Sollzinssatz bzw. Finanzanlagen zum Habenzins in beliebiger Höhe kann jedoch zu jedem Zeitpunkt das finanzielle Gleichgewicht hergestellt werden. Durch die Einbeziehung einer (pauschalierten) Fremdfinanzierungsquelle ist dieser Ansatz eine Vorstufe zum Modell der simultanen Investitions- und Finanzierungsprogrammplanung. ³⁾

- 1) Vgl. Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 194 ff
- 2) Eberdort, S. 195
- 3) Da eine Planung der einzelnen aufzunehmenden Kredite jedoch nicht erfolgt, sei dieses Modell der isolierten Investitionsprogrammplanung zugerechnet.

Für die so abgegrenzte Entscheidungssituation der Investitionsplanung werden von Kruschwitz drei heuristische Eröffnungsverfahren entwickelt, die mit unterschiedlichen finanzmathematischen Prioritätsregeln kombiniert werden. ¹⁾

Eröffnungsverfahren Nr. 1 stellt zunächst auf der Grundlage eines der verwendeten finanzmathematischen Vorteilhaftigkeitskriterien eine Prioritätsliste (P-Liste) auf, die die Projekte in fallender Reihenfolge des Kriteriumswertes ordnet. Für jedes der Projekte wird dann geprüft, "ob es nach den 'Spielregeln' der Investitionstheorie zulässig ist oder nicht." ²⁾ Unter einer "Spielregel" versteht Kruschwitz den Wertebereich, für den das jeweilige Kriterium die Güntigkeit beziehungsweise Ungüntigkeit des jeweiligen Projektes konstatiert. "Wir verstehen unter einer solchen 'Spielregel' bspw. den Satz: 'Realisiere niemals ein Investitionsobjekt mit einem negativen Kapitalwert' oder 'Realisiere niemals ein Investitionsobjekt, dessen interner Zinsfuß kleiner ist als der Kalkulationszinsfuß.'" ³⁾ Tabelle 7 gibt einen Überblick über die verwendeten finanzmathematischen Kriterien ⁴⁾ und die jeweils geltende Spielregel. Die Liste der "günstigen Projekte" wird in der Reihenfolge des Kriteriums abgearbeitet. Wird durch die Aufnahme der Investition keine Liquiditätsbedingung verletzt, so wird sie Bestandteil des In-

- 1) Vgl. Kruschwitz, L.: Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, in: ZfB 47, Jg. (1977), S. 209-224 - derselbe: Zur heuristischen Optimierung von Investitionsprogrammen auf der Basis finanzmathematischer Kriterien, Arbeitspapier 3/75 des Instituts für Unternehmensführung an der Freien Universität Berlin, Berlin 1975 - derselbe: Untersuchung über die Treffsicherheit finanzmathematischer Heuristiken zur Lösung eines einfachen Problems der Investitionsprogrammplanung, unveröffentlichtes Manuskript, Berlin 1975
- 2) Eberdort, S. 215
- 3) Eberdort, S. 217
- 4) Zur Definition der finanzmathematischen Kriterien vgl. Abschnitt 7.3

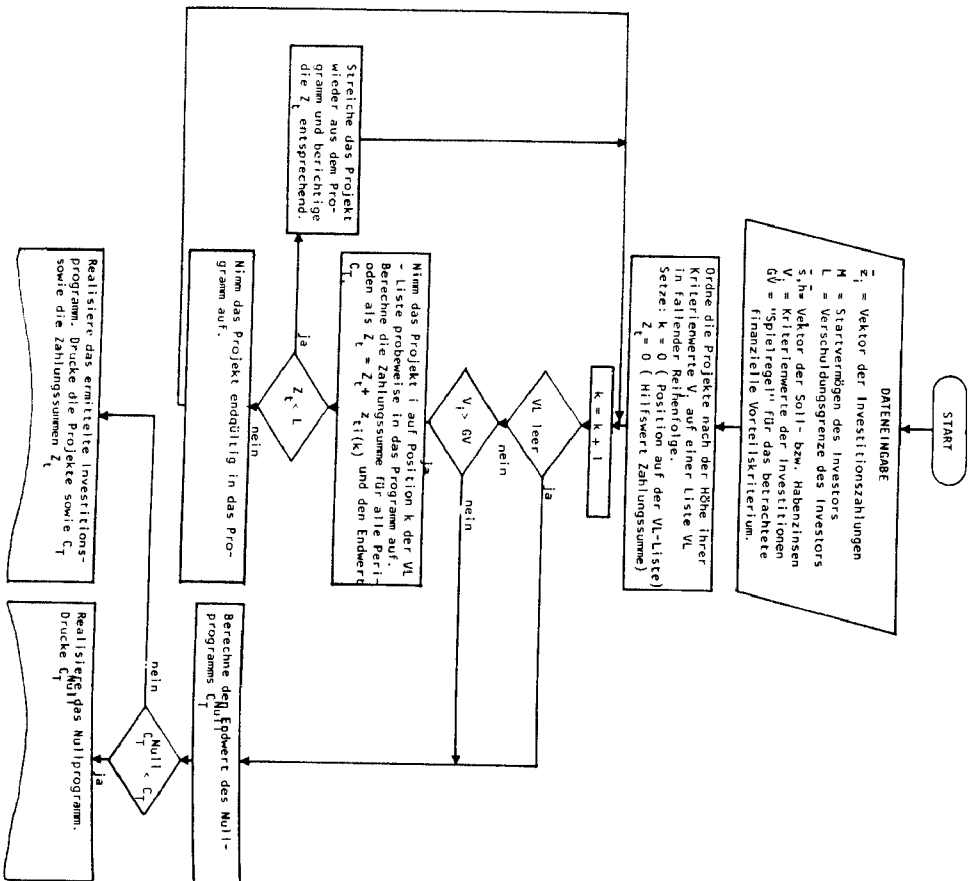


Abb. 49 : Flussdiagramm der Regel 1 von Kruschwitz

vestitionsprogramms; ansonsten wird sie verworfen. Nach Prüfung aller Projekte existiert ein zulässiges Investitionsprogramm, für das der Endwert berechnet wird.¹⁾ Dieser Endwert wird verglichen mit dem Vermögenswert, der sich allein durch Anlage des Eigenkapitals M_e zum Habenzins ergeben würde. Nur dann, wenn der Zielfunktionswert des Investitionsprogramms größer ist, wird dieses realisiert.

i = Kalkulationszins
 s = Sollzins
 Realisation des Projektes ist

Kriterien	zulässig	unzulässig
Kapitalwert	≥ 0	< 0
Vermögenswert	≥ 0	< 0
Finalwert	≥ 0	< 0
Kapitalwertrentabilität	≥ 0	< 0
Max. interner Zinsfuß	$\geq i$	$< i$
Min. interner Zinsfuß	$\geq i$	$< i$
Vermögensrentabilität	$\leq s$	$> s$
Kritischer Sollzinsfuß	$\leq s$	$> s$

Tabelle 7 : Spielregeln der Investitionstheorie für die Aufnahmeregeln 1 von Kruschwitz 2)

"Die Regel Nr. 2 unterscheidet sich von der Regel Nr. 1 lediglich darin, daß die 'Spielregeln' mißachtet wurden."³⁾
Eröffnungsverfahren Nr. 2 arbeitet also die Prioritätsliste vollständig ab und nimmt die Projekte solange in das Programm

1) Zu den Berechnungsregeln für den Endwert vgl. Kruschwitz, l. c.; Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O., S. 212 f - Vgl. auch Abschnitt 7.3
 2) Vgl. ebendort, S. 217
 3) Derselbe; Zur heuristischen Optimierung von Investitionsprogrammen auf der Basis finanzmathematischer Kriterien, a.a.O., S. 21

auf, wie dies ohne Verletzung der Liquiditätsbedingungen möglich ist.

Die beiden ersten Eröffnungsverfahren sind somit einfache Prioritätsregelverfahren auf der Grundlage finanzmathematischer Kriterien. Auch das Eröffnungsverfahren Nr. 3 nutzt dieses erste Grundkonzept materiell-orientierter Heuristiken für die Investitionsprogrammplanung, ergänzt die Prioritätsliste aber durch eine Vorausschauraechnung. Dabei wird versucht, den sich ergebenden Ziel funktionswert des Gesamtprogramms bei Aufnahme des zur Wahl stehenden Projekts mit Hilfe einer Endwertberechnung der bisher realisierten Lösung abzuschätzen. Wie bei einem "Branch-and-Bound-Verfahren" wird die Investition nur dann aufgenommen, wenn diese Abschätzung einen positiven Zielbeitrag ergibt.¹⁾

Im einzelnen läuft Verfahren Nr. 3 in folgenden Schritten ab: 2)

1. Berechne für alle Investitionen den Wert des jeweiligen finanzmathematischen Kriteriums W_1 . Wird bei dieser Berechnung ein Kalkulationszinsfuß benötigt, so setze diesen gleich dem arithmetischen Mittel aus Soll- und Habenzins.³⁾
 2. Stelle eine Prioritätsliste (P-Liste) so auf, daß für jedes Projekt i auf der k -ten Listenposition gilt:
 $W_{1k-1} > W_{1k} > W_{1k+1}$ (fallende Reihenfolge).
-
- 1) Entsprechend der Einteilung von Miller-Webach handelt es sich somit um ein Vorausschauraechregelverfahren. Vgl. derselbe; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 72 f
 - 2) Vgl. Kruschwitz, I.; Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O., S. 217 f
 - 3) Vgl. ebendort, S. 216

3. Setze einen Hilfswert $HW = 0$.

4. Nimm das erste verbleibende Projekt der P-Liste und prüfe, ob bei seiner Aufnahme die Liquiditätsbedingungen erfüllt sind. Ist das der Fall, gehe zu 5; sonst zu 6.

5. Setze das Projekt auf die I-Liste und berechne den Endwert des Programms wie folgt (Abschätzung):¹⁾

$$C_0 = \sum_{t \in I} Z_{0t} + M_0 - Y_0$$

$$C_t = \sum_{t \in I} Z_{1t} + M_t - Y_t + \begin{cases} C_{t-1} (1+s_t), & \text{wenn } C_{t-1} < 0 \\ C_{t-1} (1+h_t), & \text{wenn } C_{t-1} \geq 0 \end{cases}$$

$$C_T = \sum_{t \in I} Z_{Tt} + M_T - Y_T + \begin{cases} C_{T-1} (1+s_T), & \text{wenn } C_{T-1} < 0 \\ C_{T-1} (1+h_T), & \text{wenn } C_{T-1} \geq 0 \end{cases}$$

Ist $C_T > HW$, so setze $HW = C_T$ und streiche das betrachtete Projekt von der P-Liste, gehe zu 7. Sonst streiche das Projekt von der I-Liste und gehe zu 6.

6. Streiche das Projekt von der P-Liste. Gehe zu 4.

7. Ist die P-Liste noch nicht leer, gehe zu 4. Sonst stellt die I-Liste das ermittelte Investitionsprogramm dar. Berechne diesen Endwert nach den angegebenen Formeln und prüfe, ob dieser größer ist als der Endwert bei Anlage des Eigenkapitals zum Habenzins.²⁾ Nur wenn das der Fall ist, realisiere das Programm. Sonst verzichte auf Investitionen.

Die Güte der drei Eröffnungsverfahren und der acht untersuchten Prioritätsregeln sind von Kruschwitz in einer Simula-

-
- 1) In seiner Abschätzungsvorschrift berücksichtigt Kruschwitz keine Entnahmen des Investors Y_t und Eigenkapital nur im Startzeitpunkt $t = 0$. Die Veränderung wurde aufgrund des modifizierten Entscheidungsmodells notwendig.
 - 2) Durch die hier vorgenommene Berücksichtigung von Entnahmen des Investors können durchaus auch Kredite zum Sollzins notwendig werden.

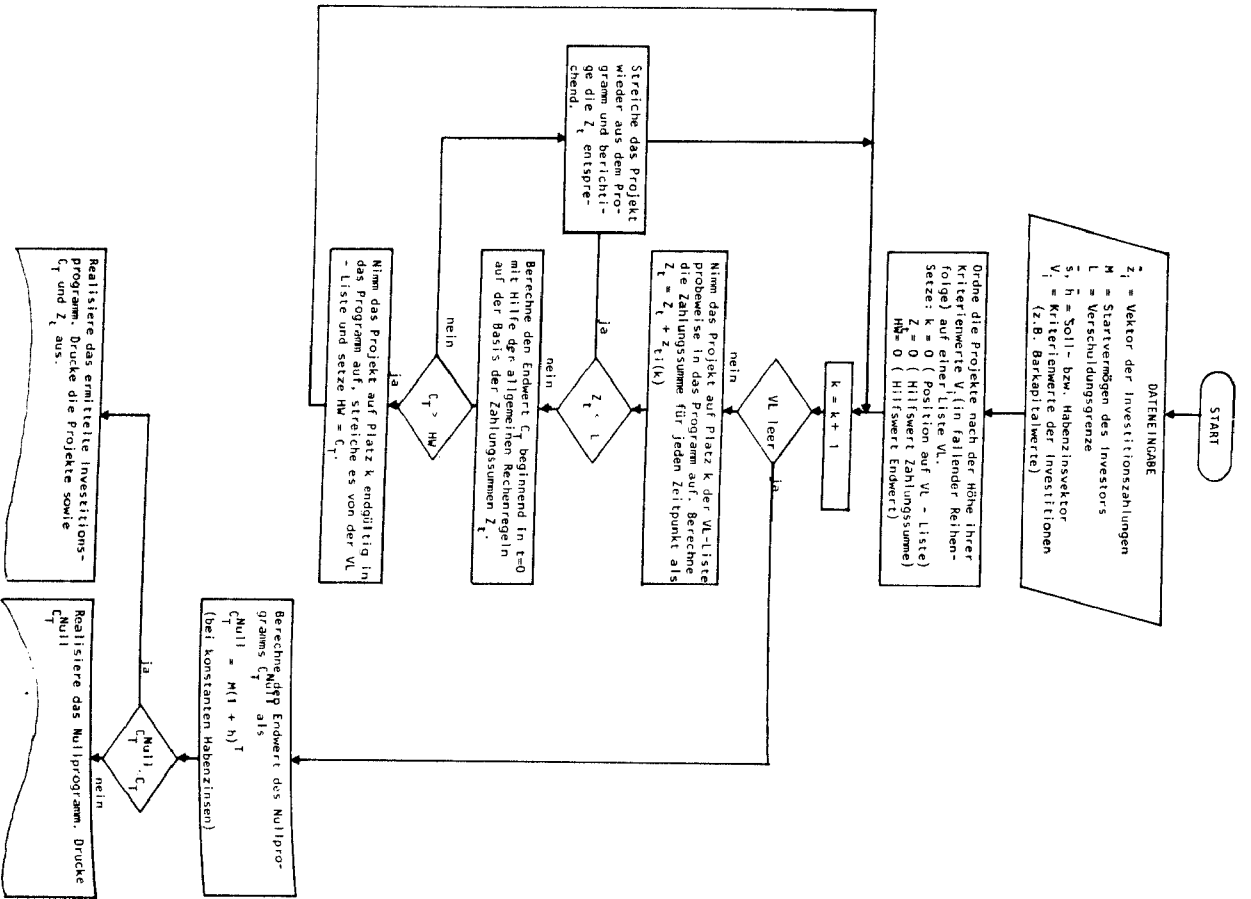


Abb 50 : Flussdiagramm der Regel 3 von Kruschwitz

tionstunde überprüft worden. "Die Testdaten wurden mit Hilfe eines Pseudo-Zufallszahlengenerators erzeugt." 1) Dann wurde das zufällig generierte Entscheidungsproblem 2) sowohl mit einem Optimierungsalgorithmus als auch mit allen, aus jeweils einem Eröffnungsverfahren und einer Prioritätsregel bestehenden Heuristiken gelöst. "Im dritten Schritt wurden die Zielfunktionswerte (Endwerte) des tatsächlichen Optimums mit den Endwerten der heuristischen Lösungen verglichen." 3) Ein Vergleich der erforderlichen Rechenzeiten wurde nicht vorgenommen.

Die Ergebnisse der Simulationsstudie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. "Die Regel Nr. 3 ist eindeutig besser als die Regel Nr. 1. Es hat keine einzige Simulation gegeben, in der die Regel Nr. 1 bessere Entscheidungsergebnisse geliefert hätte als die Regel Nr. 3." 4) Ein entscheidender Grund für dieses schlechte Abschneiden der Regel Nr. 1 war die Tatsache, daß es ganz und gar unzuweckmäßig ist, die von uns berücksichtigten und in der Regel Nr. 1 verankerten 'Spielregeln' der Investitionstheorie wirklich zu beachten." 5) Da die Überlegenheit der Regel Nr. 3 aber auch gegenüber der Regel Nr. 2 galt, 6) ist diese sicher auch ein Ergebnis der Tatsache, daß Prioritätsregelverfahren in aller Regel schlechtere Ergebnisse als Vorausschau-
- 1) Kruschwitz, L.: Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O., S. 213
- 2) Zu den Generierungsvorschriften vgl. ebendort, S. 214
- 3) Vgl. ebendort, S. 218
- 4) Ebendort, S. 218 - Die Regel Nr. 3 wird von Kruschwitz Regel Nr. 2 genannt.
- 5) Ebendort, S. 219
- 6) Die Regel Nr. 2 wurde nur in einer vorgelagerten Untersuchung mit veränderten Datengenerierungsvorschriften getestet.

regelverfahren erbringen. "Bei Prioritätsregelverfahren ist zumeist eine verhältnismäßig geringe Lösungsqualität mit niedrigem Lösungsaufwand zu erreichen. Bei Vorausschauregelverfahren ... liegt dagegen der Rechenaufwand oft deutlich höher, was sich jedoch durch die fast immer besseren Lösungen bezahlt machen kann."¹⁾

2. Die mittleren prozentualen Abweichungen von den tatsächlichen Optima hängen bei den Regeln 1 und 2 extrem, bei der Regel Nr. 3 immer noch stark vom verwendeten finanzmathematischen Kriterium ab. Da die Einzelergebnisse stark von der jeweils verwendeten Datengenerierungsvorschrift abhängen, sind sie in Tabelle 8 zusammengestellt.

3. Vergleicht man die verwendeten Prioritätsregeln auf der Basis des Verfahrens Nr. 3 anhand der durchschnittlichen prozentualen Abweichungen und der Anzahl der Fälle, in denen der optimale Zielfunktionswert auch von der Heuristik erreicht wurde ("Volltreffer"), so erwiesen sich Kapitalwert und Vermögensrentabilität²⁾ allen anderen Kriterien als signifikant überlegen.³⁾ Nur geringfügig schlechter schnitten die Kapitalwertrentabilität, der Finalwert und der kritische Sollzinsfuß ab. Wie aufgrund des Verfahrensaufbaus unmittelbar ersichtlich, haben die Eigenschaften des Vorteilhaftigkeitskriteriums bei den beiden Prioritätsregeln einen sehr viel größeren Einfluß auf die Lösungsgüte als beim Vorausschauregelverfahren Nr. 3.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen von Kruschwitz stand das erste Grundkonzept materieller Heuristiken: die Verwendung

1) Müller-Merbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 82

2) Vgl. zu den Definitionen der Kriterien Kruschwitz, L.: Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O., S. 216

3) Diese Aussagen basieren auf Simulationsreihe Nr. 3

Simulationsreihe	Anzahl d. Investit.	Bemerkungen	Verfahren	Kapitalwert	Vermögenswert	Finalwert	Interner Zins		Kapitalwert-rate	Vermögensrentabilität	Kritischer Sollzins
							r _{max}	r _{min}			
1	10	wechselnde Vorzeichen der Projekte 1000 Simulationen, 33% Startkapital, Kreditlimit = 0.5 · Startkapital	Nr. 1	8,86%	70,77%	-	9,75	-	9,20	70,87	-
			Nr. 2	16,61	40,32	29,9	15,11	-	16,13	14,25	14,69
			Nr. 3	1,26	11,95	3,9	1,49	-	1,28	0,63	1,01
2	10	wechselnde Vorzeichen der Projekte 100 Simulationen, 33% Startkapital Kreditlimit= 0.5·Startkap.	Nr. 1	10,05	81,2	29,9	11,9	33,8	10,8	81,7	30,4
			Nr. 3	1,6	14,1	3,9	2,3	7,8	1,2	1,4	1,5
3	40	wie 2 - nur 16,6% Startkapital = Kreditlimit	Nr. 1	1,4	67,4	8,3	3,2	29,9	2,3	67,5	8,9
			Nr. 3	1,0	9,6	2,0	2,7	12,4	1,8	1,2	2,2

1) bezogen auf die Auszahlungen aller Investitionen zu Planungsbeginn

Tab. 8 : Testergebnisse von Kruschwitz - Mittlere prozentuale Abweichungen

finanzmathematischer Prioritätslisten. Dieses Konzept wurde in allen Eröffnungsverfahren in seiner Ursprungsform verwendet; die finanzmathematischen Kriterien wurden also nicht zur Berechnung relativer Maße wie "effektiver Gradienten", "Greatest Change" etc. verwendet. Durch den Einsatz einer Vorausschauregel werden in dieser komplexen Entscheidungssituation dennoch Ergebnisse erzielt, die sich mit denen von Gradientenverfahren beim Lorie-Savage-Problem messen können.

6.2.2.3 Heuristiken der simultanen Investitions- und Finanzierungsprogrammplanung

6.2.2.3.1 Alle Investitionen und Finanzierungsmaßnahmen beginnen im Startzeitpunkt $t = 0$; finanzieller Engpaß ebenfalls nur in $t = 0$.

"Zur gleichzeitigen Auswahl aus den Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten des Zeitpunktes $t = 0$ hat bekanntlich Dean (1951) ein Entscheidungskalkül vorgetragen, in dem der Schnittpunkt von Kapitalnachfrage- und Kapitalangebotskurve die optimale Lösung kennzeichnet."¹⁾ Eine exakte Lösung wird durch diesen Vorschlag nur dann erreicht, wenn außer dem Entscheidungszeitpunkt nur noch ein entscheidungsrelevanter Zeitpunkt existiert (der sogenannte Zwei-Zeitpunktfall)²⁾ und wenn für die Projekte nicht die Bedingung der Ganzzahligkeit gilt.³⁾ "Als heuristisches Verfahren, d.h. als Verfahren zu Bestimmung guter Annäherungen an das optimale Kapitalbudget, bleibt

1) Siegel, T.: Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen, Diskussionspapiere 24 des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Berlin, 1976, S. 23
Vgl. zu diesem Vorschlag Dean, J.: Capital Budgeting, New York 1951, S. 43 ff und Hax, H.: Investitionstheorie, a.a.O., S. 62 ff
2) Vgl. ebendort
3) Vgl. Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 153 ff

die Methode der Gegenüberstellung von Kapitalangebots- und Kapitalnachfragekurven trotz aller theoretischen Mängel ein wesentlicher Bestandteil des Instrumentariums der Investitionstheorie."¹⁾²⁾ Die Kapitalnachfragekurve gibt dabei die Beziehung zwischen Kapitaleinsatzhöhe der betrachteten Investitionen und deren finanzmathematischen Kriterienwert³⁾ wieder, die Kapitalangebotsfunktion entsprechend den Zusammenhang zwischen der (durch das Kriterium gemessenen) "Günstigkeit" eines Kredites und dem möglichen Kreditaufnahmebetrag.⁴⁾

Auf eine detaillierte Beschreibung dieses Ansatzes sei an dieser Stelle verzichtet, da der Kalkül von Dean im Abschnitt 7 einer umfangreichen Untersuchung unterzogen wird.

6.2.2.3.2 Projekte können in allen Perioden des Planungszeitraums beginnen, Beachtung von finanziellen Restriktionen ebenfalls in allen Perioden (Hax/Weingartner-Modell)

Das jetzt betrachtete Entscheidungsmodell entspricht weitgehend dem oben dargestellten und abgegrenzten Ansatz von Hax zur simultanen Investitions- und Finanzplanung.⁵⁾ Es handelt sich um ein finanzwirtschaftliches Totalmodell, das "sämtliche Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten vom

1) Hax, H.: Investitionstheorie, a.a.O., S. 84
2) Eine detaillierte Beschreibung dieses Verfahrens findet sich in Abschnitt 7.4.3.2
3) Dean verwendet als "Günstigkeitskriterium" den Internen Zinsfuß. Zu anderen möglichen Kriterien vgl. Abschnitt 7.3
4) Vgl. Blumentrath, U.: Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., S. 292 ff
5) Vgl. Hax, H.: Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der Linearen Programmierung, a.a.O. - Vgl. auch die Abschnitte 2.2 und 7.1 dieser Arbeit.

Planungszeitpunkt heute bis zum Ende des Handlungszeitraums des Unternehmers zu erfassen und zielentsprechend zu kombinieren¹⁾ sucht. Durch diesen Anspruch unterscheidet es sich wesentlich von den bisher betrachteten Partialmodellen, deren Komplexität durch eine Reihe von Pauschalannahmen auf ein auch von sehr einfachen Lösungsverfahren zu bewältigen- des Maß reduziert wurde.

Sieht man von der Einbeziehung des Leistungsbereiches und des Unsicherheitsaspekts ab, so stellt diese Entscheidungssituation der Investitionsplanung die höchsten Anforderungen an ein Lösungsverfahren.

Hellwig²⁾ hat versucht, durch Schätzung geeigneter Kalkulationszinsfüße einen Weg zur "approximativen Lösung ganzzahliger Investitionstheoretischer Totalmodelle durch Partialmodelle"³⁾ zu finden. Ausgangspunkt ist dabei das zweite Grundkonzept materiell-orientierter Heuristiken, also die Tatsache, daß sich ein kontinuierliches Investitionsprogrammplanungsproblem optimal, ein ganzzahliges Modell zumindestens approximativ mit Hilfe der Kapitalwertmethode lösen läßt, wenn geeignete Kalkulationszinsfüße vorgegeben werden. Das heuristische Verfahren besteht dann aus zwei Elementen: Dem Partialmodell des Kapitalwertes, das die Zielsetzung des In-

1) Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 192

2) Vgl. Hellwig, K.: Die Lösung ganzzahliger Investitionstheoretischer Totalmodelle durch Partialmodelle, in: *Mathematical Systems in Economics 4*, hrsg. von G. Bamberg u.a., Meisenheim am Glan 1973 - derselbe; Die Theoreme von Everett und die Lösung ganzzahliger Investitionsprogramme, in: *Proceedings in Operations Research 3*, hrsg. von P. Gessner u.a., Würzburg-Wien 1974, S. 373-374 - derselbe; Die approximative Bestimmung optimaler Investitionsprogramme mit Hilfe der Kapitalwertmethode, in: *ZfBf 28. Jg.* (1976), S. 166-171

3) So eine Kapitelüberschrift in Hellwig, K.: Die Lösung ganzzahliger Investitionstheoretischer Totalmodelle durch Partialmodelle, a.a.O., S. 53

vestors abbildet und dem Bewertungsvektor in Form der Kalkulationszinsfüße, der die übrigen Elemente der Entscheidungssituation berücksichtigt.

Das Problem dieses Vorgehens liegt nun darin, den "richtigen" Bewertungsvektor vor Lösung der mathematischen Optimierungsaufgabe abzuschätzen, so daß eine hinreichend gute Entscheidung mit Hilfe der Kapitalwertmethode ermittelt werden kann. Dieses Problem wird durch die Komplexität des hier betrachteten Entscheidungsmodells, speziell durch die Ganzzahligkeitsbedingungen erschwert. Man wird daher bei der ersten Schätzung der Zinsfüße und der Lösung der Partialmodelle in der Regel ein "fehlerhaft" zusammengestelltes Programm ermitteln, dessen Finanzplan nicht ausgeglichen ist. "In diesem Fall muß die ermittelte Entscheidung ... zur Wiederherstellung der" Liquiditätsbedingungen "korrigiert werden."¹⁾ Diese Korrekturen des Finanzplans erfolgen durch Herausnahme bisher aufgenommenener beziehungsweise Aufnahme neuer Investitions- und Finanzierungsprojekte.

Grundidee des Verfahrens von Hellwig ist nun folgende: "Die Abweichung des sich aufgrund der Korrektur ergebenden Endwerts vom tatsächlichen Optimum wird durch die Summe der absoluten Kapitalendwerte aller zur Herstellung der Liquidität getroffenen Korrekturmaßnahmen beschränkt."²⁾ Diese Abweichungsgröße M hat bei Hellwig zwei Funktionen:

1) Hellwig, K.: Die approximative Bestimmung optimaler Investitionsprogramme mit Hilfe der Kapitalwertmethode, a.a.O., S. 167.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Liquiditätsbedingungen bei dem von Hellwig verwendeten Modell Gleichungen sind. Ökonomisch kann somit die Liquidität bei fehlerhafter Schätzung der Kalkulationszinsfüße durchaus gesichert sein, auch wenn die Lösung formal nicht zulässig ist. In seinen Beispielen verwendet Hellwig jeweils eine unbeschränkte Finanzanlage- und Finanzaufnahmengleichung, so daß der "endogene Kalkulationszins" auf den Bereich zwischen Soll- und Habenzins beschränkt ist. Nur wenn diese Ergänzungsmaßnahmen in ihrer Höhe oder - wie in den Beispielen - auf einzelne Perioden beschränkt werden, ist nicht jede Lösung gleichzeitig auch ein zulässiges Programm.

2) Eppendorf, S. 168

1. Zum einen ist sie eine Orientierungshilfe für den Investor, ob eine Programmverbesserung durch weitere Korrekturmaßnahmen noch lohnt.
2. Zum anderen sollen die Korrekturmaßnahmen so vorgenommen werden, daß M einen möglichst geringen Wert erhält, da sich die so abgeleitete Lösung möglichst weit dem Optimum annähert.

Aufgrund der Definition ist einsichtig, "daß M sowohl von der Wahl der jeweils verwandten Zinsfüße, als auch von den gewählten Korrekturmaßnahmen abhängt."¹⁾ Zur Bestimmung einer aussagefähigen Abweichungsgröße ist somit selbst wieder die Lösung eines kombinatorischen Optimierungsproblems notwendig. Heuristische Regeln zur Abschätzung der Faktoren gibt Hellwig nicht an. Er regt vielmehr an, von dem Zielunktionswert der Optimallösung des kontinuierlichen Problems und den dabei anfallenden endogenen Zinsfüßen auszugehen. Wird das kontinuierliche Programm korrigiert, um die Ganzzahligkeitsbedingungen einzuhalten, so läßt sich M als Differenz zwischen kontinuierlichem und ganzzahligem Zielwert bestimmen. Die Abweichungsgröße M kann dann als "Kosten der Ganzzahligkeit" interpretiert werden.²⁾ Erst nach der aufwendigen Lösung des kontinuierlichen linearen Programmierungsproblems ist M als Orientierungshilfe zur Programmverbesserung verwendbar, da die Größe dann die maximale Abweichung zum theoretischen, bei Nichtexistenz der Ganzzahligkeitsbedingungen erreichbaren Optimum angibt.

Eine Regel für die Programmverbesserung, das heißt für die Eliminierung und Aufnahme von Projekten, gibt der Konstrukteur nicht an. Hellwigs Vorgehen scheint vielmehr durch die "Metho-

1) Hellwig, K.: Die approximative Bestimmung optimaler Investitionsprogramme mit Hilfe der Kapitalwertmethode, a.a.O., S. 168
 2) Vgl. eberhardt, S. 169

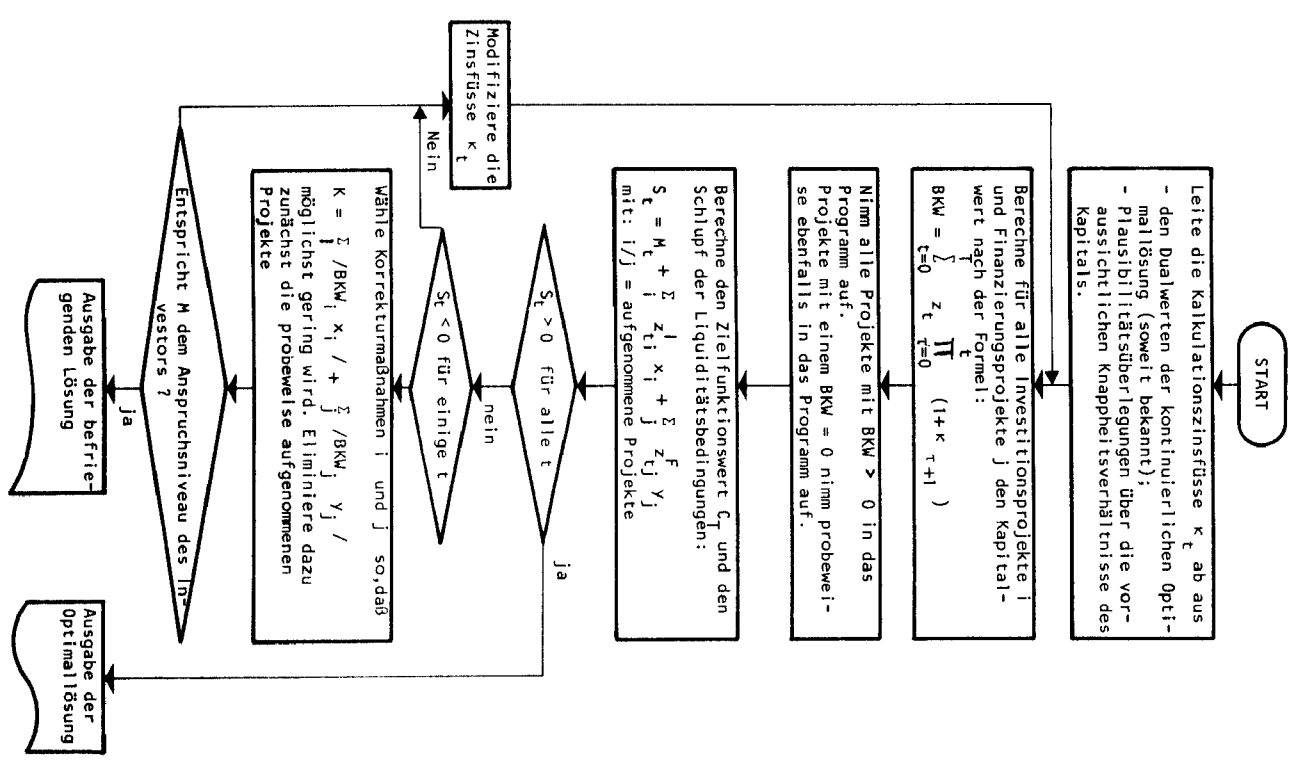


Abb. 51 : Fluiddiagramm des Näherungsverfahrens von Hellwig

de des scharfen Hinsehens" gekennzeichnet zu sein. Schließlich wird keinerlei Angabe darüber gemacht, wie die Kalkulationszinsfüße zu wählen sind, damit der Korrekturaufwand möglichst gering gehalten wird. ¹⁾

Hellwigs Vorschlag, dessen einzelne Schritte im Flussdiagramm der Abbildung 51 zusammengefaßt sind, stellt somit kein heuristisches Programm dar, sondern nur die Anregung, das zweite materielle heuristische Grundkonzept auch in der simulierten Investitions- und Finanzplanung zu verwenden.

1) Der Verfasser dankt Herrn cand.ing. Gernot Meißner für eine Reihe fruchtbarer Diskussionen über den Vorschlag von Hellwig. Vgl. auch Meißner, G.: Approximative Investitionsprogrammplanung mit Hilfe der Kapitalwertmethode - Diskussion eines Vorschlags von Hellwig, K.; Herrn Prof. Dr. I. Kruschwitz; Ausgewählte Probleme der Investitionstheorie, Technische Universität Berlin, WS 1976/77 (Unveröffentlicht)

6.3 Methodische Grundlagen des Entwurfs heuristischer Lösungsverfahren

6.3.1 Ansatzpunkte und Ziele einer Entwurfsmethodologie

Seit Simon und Newell im Jahre 1958 die heuristische Problemlösung als "the next advance in Operations Research" bezeichneten, ¹⁾ sind heuristische Programme für eine Vielzahl von Problemen entwickelt worden. ²⁾ Bei der Beschreibung dieser Verfahren wird in der Regel viel Raum den spezifischen Verfahrenseigenschaften und der Demonstration ihrer Wirksamkeit gewidmet, wenig Wert wird hingegen auf eine systematische Einordnung und Analyse der Heuristik gelegt. ³⁾ "In the various applications of heuristic programming, that have been published, the heuristic problem solving procedures used are almost only described in a specific problem-oriented manner, so that the reader possibly gets the impression that each application only consist of rules of thumb or tricks, specially constructed for the occasion." ⁴⁾

Dieser Mangel an Systematik hat schwerwiegende Auswirkungen auf den Entwicklungsstand der heuristischen Programmierung:

(1) Oft werden Heuristiken in der Literatur dargestellt, die sich nur in geringfügigen Details von bestehenden Verfahren

1) Simon, H.A./Newell, A.: Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research, in: OR Vol. 6 (1958), S. 1-10

2) Im betriebswirtschaftlichen Bereich existieren heuristische Programme insbesondere für die Standortplanung, die Fertigungsablaufplanung und für die Projektplanung sowie für die Investitionsplanung. Vgl. für viele Klein, H.C.: Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 135 ff und Herroelen, W.S.: heuristische programmatische, a.a.O., S. 83 ff

3) Vgl. Miller-Merbach, H.: Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 656 ff

4) Herroelen, W.S.: Heuristic programming in operations management, in: Die Unternehmung 26. Jg. (1972), S. 213-231, S. 216 f

ren unterscheiden, ohne daß diese Parallelen für den Leser deutlich werden. Es ist in vielen Fällen zu vermuten, daß nicht einmal der Verfahrenskonstrukteur sich der Ähnlichkeit bewußt geworden ist und somit ungewollt eine oft erhebliche Doppelarbeit geleistet hat. ¹⁾

- (2) Eine zielgerichtete Weiterentwicklung bestimmter heuristischer Verfahren wird durch eine unsystematische Darstellung und eine nicht einheitliche Terminologie erschwert. Im Extremfall kann das dazu führen, daß vielversprechende Ansätze zur heuristischen Lösung eines speziellen Problemtyps erst nach Jahren weiterentwickelt werden. ²⁾

"Ohne Methodologien und allgemeine Anweisungen, die zu einer Systematik zwingen, bleibt der Entwurf von Algorithmen eine von Zufälligkeiten, Inspiration und Intuition abhängige Kunst, deren Vollendung nur wenigen Experten gelingen mag, während der Rest der Algorithmenthewerfer zum Dilletantismus verurteilt ist." ³⁾

Zwei Forschungsrichtungen versuchen, eine Systematik zur Entwicklung von heuristischen Programmen zu schaffen und damit

- 1) So etwa Ibaraki, T./Onashi, T./Mine, H.: A Heuristic Algorithm for Mixed-Integer Programming Problems, in: Mathematical Programming Study, Vol. 2 (1974), S. 115-136, die offensichtlich erst durch den Begutachter ihres Aufsatzes auf die Existenz einer analogen Heuristik von Hillier hingewiesen wurden: "Reviewing the original manuscript, a similar heuristic procedure for MIP problems as an extension of his Efficient heuristic procedures for integer linear programming with an interior, in: OR Vol. 17 (1969), S. 600-636
- 2) Vgl. Miller-Werbach, H.: Ansätze zu Entwurfsmethodologien der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 657
- 3) Eberhardt, S. 656

"den Übergang von der Kunst des Algorithmentwurfs zur Wissenschaft des Algorithmentwurfs" ¹⁾ zu erreichen.

Der "induktive Ansatz" versucht, aus der Analyse bestehender Heuristiken über eine Systematisierung ihrer Elemente eine Methodologie zum Entwurf neuer Verfahren abzuleiten. ²⁾ Dabei werden vor allem Verfahren des Operations Research analysiert, deren Anwendung in der Regel auf quantifizierbare Problemstellungen beschränkt ist.

Diese Beschränkung versucht das "Artificial Intelligence"-Konzept zu überwinden, das versucht, aus der Analyse menschlichen Problemlösungsverhaltens heraus intelligente heuristische Programme zu entwickeln und diese auf Computern zu implementieren. Aus den so abgeleiteten heuristischen Prinzipien versucht dieser "deduktive Ansatz", Anleitungen für den Entwurf heuristischer Programme zu entwickeln, die sich sowohl für schlecht-strukturierte wie auch für gut-strukturierte Problemstellungen eignen. ³⁾

- 1) Vgl. Miller-Werbach, H.: Ansätze zu Entwurfsmethodologien der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 657
- 2) Vgl. dazu vor allem Miller-Werbach, H.: Heuristische Verfahren, in: Management Enzyklopädie (Ergänzungsband), München 1973, S. 346-355 - derselbe; Heuristic Methods: Structures, Applications, Computational Experience, in: Cottle, R./Krarup, J. (eds.), Optimization Methods for Resource Allocation, London 1974, S. 401-416 - derselbe; Modeling Techniques and Heuristics for Combinatorial Problems, in: Roy, B. (ed.), Combinatorial Programming - Methods and Applications, Dordrecht, 1975, S. 3-27 - derselbe; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O. - derselbe; The Use of Morphological Techniques for OR-Approaches to Problems, in: Haley, K.B. (ed.), Operational Research '75, Amsterdam 1976, S. 127-139 - derselbe; Ansätze für Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O.
- 3) Vgl. auch Herroelen, W.S.: heuristische programmatische, a.a.O. sowie Weßner, J.D.: Bausteine zur heuristischen Programmierung, Diss. TU Berlin 1979, S. 73 ff und derselbe: Eine Typisierung heuristischer Lösungsverfahren, Unveröffentlichtes Manuskript Berlin 1979
- 3) Vgl. für viele Newell, A.: Heuristic Programming: Ill-structured problems, in: Abramofsky, I.S. (ed.): Progress in Operations Research, New York 1969, S. 363-414 - Wheeling, R.F.: Heuristic Search: Structured Problems, in: derselbe, S. 317-359 - Slagle, J.R.: Einführung in die heuristische Programmierung, München 1972 - Nilsson, N.J.: Problem Solving Methods in Artificial Intelligence, New York etc. 1971 - Sandewall, E.J.: Heuristische Suche: Konzepte und Methoden, in: Findler, N.V./Itzinger, O.: Künstliche Intelligenz und heuristisches Programmieren, New York 1975, S. 83-104

Aufgrund des Anspruchs der universellen Verwendbarkeit in Problemlösungsprozessen sind die so abgeleiteten heuristischen Prinzipien nur von geringer Lösungs- und Ressourcenausnutzungsmöglichkeit. "Sie sind nicht in der Lage, Probleme vom Schwierigkeitsgrad realer Aufgaben mit vertretbarem Aufwand zu lösen."¹⁾ Zwar kann dieser Ansatz damit kaum direkt verwendbare Elemente für konkrete heuristische Programme bereitstellen, bei der grundlegenden Problemanalyse und der Strukturierung des heuristischen Programms sind seine Erkenntnisse hingegen wertvoll.

Nur eine Verbindung beider Forschungseinrichtungen kann somit einerseits direkt verwertbare Entwurfsanleitungen ergeben, andererseits aber die enge, an bestimmten formalen Methodenstrukturen orientierte Sichtweise des Operations Research überwinden, die die Gefahr in sich birgt, inhaltliche Kategorien des zu lösenden Problems formalen Methodenanforderungen zu opfern.

Dieser Gefahr kann auch dadurch begegnet werden, daß den allgemeinen Konzepten der heuristischen Programmierung eine Spezifizierung für die jeweils zu lösende Problemklasse beigeordnet wird. Diese "speziellen Prinzipien" bestehen aus Konzepten, die eine Disziplin wie hier die Investitionstheorie unabhängig von den allgemeinen Problemlösungsmethoden zur Bearbeitung der von ihr betrachteten Aufgabenstellungen entwickelt hat. So hat die Investitionstheorie ein weites Spektrum von Methoden entwickelt, die üblicherweise unter dem Terminus Investitionsrechnung zusammengefaßt werden und die die Grundlage für spezielle Konstruktionskonzepte bilden.

Die allgemeinen, aus Erkenntnissen des Operations Research und des "Artificial Intelligence" abgeleiteten Konstruktions-

1) Meissner, J.-D.: Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 112

konzepte sowie die speziellen, aus der Investitionstheorie abgeleiteten Konzepte bilden die Grundlage für eine Methodologie zum Entwurf heuristischer Lösungsverfahren für Investitionsprogrammplanungsprobleme.

Die Entwurfsmethodologie¹⁾ selbst umfaßt folgende Schritte:²⁾

(1) Auf der Grundlage der Konstruktionskonzepte sind im ersten Schritt die Verfahrenselemente, über die im Konstruktionsprozeß eine Entscheidung zu treffen ist, aufzulisten. Die zu entwerfende Heuristik ist also in grundsätzliche Teile zu zerlegen.

Diese Strukturierung kann sich an den Elementen des jeweils verwendeten Konstruktionskonzepts wie auch an den inhaltlichen Eigenschaften des zu lösenden Problems orientieren. So wird eine Heuristik zur Lösung eines simultanen Investitions- und Finanzierungsprogrammplanungsmodells sicher jeweils ein Element zur Bewertung der alternativen Investitionen beziehungsweise Finanzierungsmöglichkeiten sowie ein Element umfassen, das aufgrund dieser Bewertungen über die Aufnahme der Projekte entscheidet. Wird ein bestimmter formaler Verfahrenstyp gewählt, so wird dieser erste Schritt erleichtert, da hier die Elemente bekannt sind.³⁾

(2) Im Anschluß an diese Verfahrensstrukturierung ist eine Entscheidung über die konkrete Ausgestaltung jedes Verfahrenselements zu treffen. Dabei kann die Kenntnis

1) Zum Begriff vgl. Miller-Merbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 69

2) Vgl. Miller-Merbach, H.: Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 659 ff

3) Vgl. etwa die Strukturierung von Entscheidungsbaumverfahren bei Miller-Merbach, H.: Modelling Techniques and Heuristics for Combinatorial Problems, a.a.O., S. 17 ff

existierender formal- und materiell-orientierter Heuristiken von großem Nutzen sein und die Konstruktion eines effizienten heuristischen Programms beschleunigen. Dieser Schritt endet mit der Zusammenstellung eines heuristischen Programms und zumeist auch mit der Implementierung des Verfahrens auf einer Rechenanlage. Es gibt heute weder für die Konstruktion von Entscheidungsmodellen noch für den Algorithmentwurf detaillierte Anleitungen. "Vielmehr ist hier der Entwerfer noch weitgehend auf seine Intuition und Erfahrung angewiesen." ¹⁾

(3) In engem Zusammenhang mit der Entwurfsphase steht die Evaluation des Verfahrens. ²⁾ Dabei ist zwischen der kontinuierlichen, den Konstruktionsprozess begleitenden Beurteilung und dem abschließenden systematischen Heuristiktest zu unterscheiden.

Da jeder Auswahlprozess gleichzeitig ein Beurteilungsprozess ist, wird der Konstrukteur während der Verfahrensentwicklung versuchen, die Güte verschiedener Elemente "intuitiv" oder auf der Basis kleinerer Beispielsrechnungen abzuschätzen. Dieser begleitenden Bewertung kommt für die Qualität der entstehenden Heuristik große Bedeutung zu, sie ist daher durch Bereitstellung von technischen und organisatorischen Hilfsmitteln so weit wie möglich zu unterstützen.

Sonst besteht die Gefahr, daß gewichtige Verfahrensmängel erst im abschließenden systematischen Test erkannt werden, die einen Rücksprung in die Konstruktionsphase und aufwendige Verfahrensänderungen erforderlich machen. Wie

1) Müller-Werdach, H.: Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 660

2) Vgl. dazu Pfahl, H.-Chr./Hebel, R.: Bewertung heuristischer Methoden, a.a.O. und Fischer, J./Kruschwitz, I.: Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 1

ein sinnvoller Verfahrenstest aufzubauen ist, das heißt welche Testmethoden gewählt und welche Kriterien beurteilt werden sollen, steht im Mittelpunkt dieser Entwurfsphase.

Eine Entwurfsmethodologie für heuristische Programme besteht also nicht nur aus der "Konstruktionsmethodologie". Ein ganz wesentlicher Bestandteil ist die "Testmethodologie", da sie die Grundlagen für Auswahl und Anwendung einer bestimmten Heuristik für ein spezielles Problem legt. Die Bedeutung der Verfahrensevaluation ist bei der Investitionsplanung besonders einsichtig, da hier Entscheidungen von großer Tragweite für die Gesamtunternehmung vorbereitet werden.

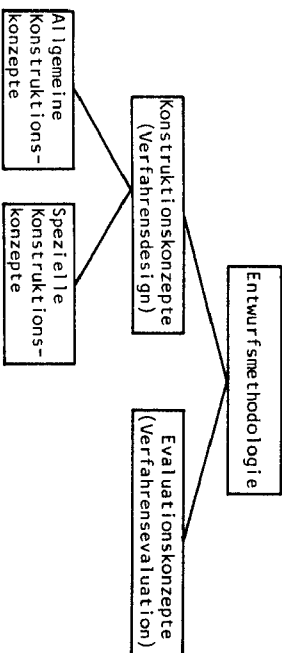


Abb. 52 : Bestandteile einer Entwurfsmethodologie für heuristische Lösungsverfahren

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die allgemeinen und speziellen Konstruktionskonzepte dargestellt. Anschließend werden die Konzepte in einer Morphologie zusammengefaßt. Diese Morphologie soll Grundlage für den Entwurf konkreter heuristischer Lösungsverfahren in Teil 7 sein. Im Anschluß daran werden Probleme der Evaluation heuristischer Verfahren ausführlich besprochen.

6.3.2 Allgemeine Konzepte zur Konstruktion von heuristischen Programmen

6.3.2.1 Das Konzept des Zustandsraums

"Das Zustandsraumkonzept arbeitet nur mit zwei Kategorien: Objekten und Operatoren."¹⁾ Objekte sind die Lösungszustände eines Problems, die durch bestimmte Merkmale und deren Ausprägungen (etwa die Höhe des erreichten Zielfunktionswertes, die Variablenwerte etc.) charakterisiert sind. Operatoren sind die Verfahren, die die Zustände des Problems (= die Objekte) in neue Zustände mit einer anderen Kombination von Merkmalsausprägungen überführen.²⁾ Dieses sehr allgemeine Konzept ist die Grundlage aller heuristischen Programme.

"The problem environments for heuristic search methods always include a set P of objects and a set Q of operators on these objects."³⁾

Das bisher nur formal beschriebene Konzept muß konkretisiert werden, um sinnvoll im Konstruktionsprozeß eingesetzt werden zu können. Dabei ist es hilfreich, von ganzzahligen Planungsproblemen auszugehen, die aufgrund ihres kombinatorischen Charakters zwar schlecht lösbar sind, sich jedoch numerisch eindeutig beschreiben lassen.⁴⁾ Bei diesen kombinatorischen Problemen ist der Raum möglicher Lösungen zwar außerordentlich groß und daher nur schwer abzusuchen, aber der Zustands-

- 1) Meissner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 25
- 2) Vgl. ebendort, S. 25 ff und Nilsson, N.J.; Problem-Solving Methods in Artificial Intelligence, a.a.O., S. 17 ff
- 3) Sandewall, E.-J.; Heuristic Search: Concepts and Methods, in: Findler, N.V./Meltzer, B. (eds); Artificial Intelligence and Heuristic Programming, Edinburgh 1971, S. 81-100, hier S. 83
- 4) Zur Abgrenzung kombinatorischer Probleme vgl. etwa Herroelen, W.S.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 16 ff und Miller-Metzbach, H.; Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 655

raum ist bekannt und endlich. Er läßt sich daher in der Form eines (geschlossenen) Entscheidungsbaums darstellen, in dem die Zustände als Knoten und die Operatoren als Pfeile repräsentiert sind.¹⁾ "Combinatorial problems may be considered as a maze consisting of a series of decision points, where at each point a number of paths appear, from which only one can be followed."²⁾

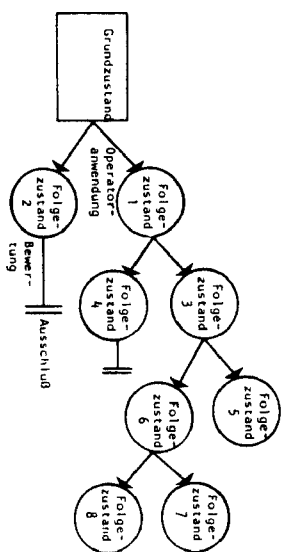


Abb. 53 : Schematische Darstellung eines Entscheidungsbaums

Von einem Grundzustand (etwa der Nulllösung) ausgehend erzeugen Operatoren solange zulässige Folgezustände, bis eine Lösung erreicht wurde, die das Anspruchsniveau des Entscheidungsträgers erfüllt. Da die Anzahl der zu betrachtenden Knoten bei vollständiger Betrachtung aller möglichen Lösungszustände sehr schnell sehr groß wird, versuchen die Verfahren, durch Anwendung von Bewertungsmaßstäben die Objektanzahl zu reduzieren. Zusätzlich zu den "normalen" Objektmerkmalen werden also "künstliche Hilfsmerkmale" betrachtet, die etwa die Verbesserungsfähigkeit eines schon erreichten Knotens abzuschätzen versuchen.

- 1) Vgl. Meissner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 31
- 2) Herroelen, W.S.; Heuristische Programmierung in operations management, a.a.O., S. 215

Ein Lösungsverfahren für die Suche im Entscheidungsbaum besteht also im Grundsatz aus zwei Teilen:

- (1) Einer Anzahl von Operatoren, die immer neue Lösungszustände erzeugen (Problem der Operatorenwahl).
- (2) Einer Vorschrift, die die Objekte bewertet und diejenigen auswählt, auf die die Operatoren angewendet werden sollen (Problem der Objektwahl).

Newell nennt das "Generate-and-Test"-Konzept heuristischer Verfahren¹⁾ und unterscheidet verschiedene Ausprägungen je nach der Form der Operatoren- und Objektwahl. Beim "Hill Climbing"²⁾ etwa werden alle neu erzeugten Objekte mit dem besten, bisher erreichten Lösungszustand verglichen und die Operatoren auf den Knoten mit der höchsten Bewertung angewendet.³⁾

Das heuristische Konzept der Baumsuche⁴⁾ ist auch Grundlage der Entscheidungsbaumverfahren des Operations Research. "Man unterscheidet drei Typen von Entscheidungsbaumverfahren: die dynamische Programmierung (Optimierung), Branch(ing) and Bound(ing) sowie die begrenzte Enumeration."⁵⁾ Während diese Methoden das Entscheidungsproblem jedoch immer exakt lösen, schließen heuristische Verfahren auch solche Lösungsmengen aus der weiteren Betrachtung aus, von denen nicht sicher ist,

- 1) Vgl. Newell, A.: Heuristic Programming: Ill-structured Problems, a.a.O., S. 377 ff
- 2) Vgl. ebendort, S. 382 ff
- 3) Vgl. zu diesem Konzept auch Whesling, R.F.: Heuristic Search: Structured Problems, a.a.O.,
- 4) Vgl. dazu Sandkewall, E.J.: Heuristische Suche: Konzepte und Methoden, a.a.O.
- 5) Miller-Merbach, H.: Heuristische Verfahren und Entscheidungsbaumverfahren, a.a.O., Sp. 1814 - Vgl. dort auch die Beschreibung der drei Verfahrenstypen.

daß sie nicht die gesuchte (optimale) Lösung enthalten.¹⁾ Durch diese stärkere Selektion begrenzen die Heuristiken den Lösungsaufwand.

Während das Zustandsraumkonzept des Artificial Intelligence die grundlegende Strukturierung des heuristischen Problemlösungsprozesses liefert, bietet die Einordnung von Heuristiken als "geknappte Entscheidungsbaumverfahren"²⁾ wie sie vom Operations Research vorgenommen wird, Hilfestellungen bei der konkreten Ausgestaltung der Objekt- und Operatorenwahl. Danach sind beim Entwurf eines Entscheidungsbaumverfahrens folgende Entscheidungen zu treffen:³⁾

- (1) In welcher Reihenfolge sollen die erzeugten Zustände untersucht werden? (Objekt - Reihenfolgeentscheidung)
- (2) Wie wird die Qualität der erzeugten Lösungsuntermengen gemessen? (Objekt - Bewertungsentscheidung)
- (3) Welche der erzeugten Knoten werden von der weiteren Analyse ausgeschlossen? (Objekt - Ausschlußentscheidung)
- (4) "Welche der denkböglichen Operatoren werden nicht angewendet, weil sie nicht zulässig sind (Ausschlußentscheidung wegen Unzulässigkeit) oder weil sie nicht relevant sind (Ausschlußentscheidung wegen fehlender Relevanz)."⁴⁾ (Operator-Auswahlentscheidung)

- 1) Vgl. Miller-Merbach, H.: Heuristische Verfahren und Entscheidungsbaumverfahren, a.a.O., S. 73 ff
- 2) Vgl. ebendort, S. 75
- 3) Vgl. ebendort und derselbe: Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 622 ff. Die hier vorgenommene Einteilung unterscheidet sich von der Miller-Merbachs, da dieser die Probleme der Operatorenwahl sämtlich unter der "Verzweigungsentscheidung" subsumiert. Vgl. auch die bei Meißner, J.D.: Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 33 ff vorgenommene Einteilung.
- 4) Ebendort, S. 34

(5) In welcher Folge werden die ausgewählten Operatoren zur Erzeugung neuer Lösungen herangezogen? (Operatoren - Reihenfolgeentscheidung)

(6) Wie wird die Relevanz und Günstigkeit der einzelnen Operatoren bewertet? (Operatoren - Bewertungsentscheidung)

Durch diese sechs Merkmale läßt sich ein Entscheidungsbaumverfahren eindeutig kennzeichnen. Zu jedem Merkmal sind dabei verschiedene Ausprägungen möglich, die das einzelne Verfahren charakterisieren.

Bei der Auswahl dieser Ausprägungen kann sich der Konstrukteur eines heuristischen Verfahrens sowohl an den "heuristischen Suchkonzepten des Artificial Intelligence" (1) wie auch an den Entwurf-freiheitsgraden orientieren, die von den Vertretern des Operations Research gesehen werden. Zur Darstellung dieser Freiheitsgrade wählt Müller-Merbach den Morphologischen Kasten. (2) Diese Form sei hier übernommen, da eine einheitliche Beschreibungstechnik wesentlicher Bestandteil einer Methodologie (3) ist und die morphologische Methode einen präzisen Formalismus zur Beschreibung und Klassifikation heuristischer Entwurfsentscheidungen zur Verfügung stellt. (4)

- 1) Vgl. etwa Stagle, R.J.; Heuristic Search Methods, in: Banerji, R./Mesarovic, M. (eds): Theoretical Approaches to Non-Numerical Problem Solving, New York 1970, S. 246-273
- 2) Vgl. etwa Müller-Merbach, H.: The Use of morphological Techniques for OR-Approaches to Problems, a.a.O., derselbe; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O. derselbe; Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O.
- 3) Vgl. etwa die Bemühungen um einheitliche Beschreibungstechniken bei der Entwicklung von ISM-Programmen. Vgl. Schnurr, P./Floyd, Ch.: Software, Programmentwicklung und Projektorganisation, a.a.O.
- 4) Zur morphologischen Methode vgl. Ropohl, G.: Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der morphologischen Methode in Forschung und Entwicklung, a.a.O. sowie Schlicksupp, H.: Kreative Ideenfindung in der Unternehmung, a.a.O., S. 69 ff

Merkmale	1	2	3	4	5	6
1. <u>Operatormerkmale</u>						
1.1. Reihenfolgeentscheidung	Parallele Organisations- = Der zuerst erzeugte, nicht ausgeschlossene Knoten wird zuerst (First out) (First out) (Tiefensuchen) (Breitensuchen)	Sequentielle Organisations- = Der zuerst erzeugte, nicht ausgeschlossene Knoten wird unter (Last in - First out) (Tiefensuchen) (Breitensuchen)	Bewertungsorganisations- = Der am besten bewertete Knoten wird als nächster untersucht (First out) (Last out)	Sequentielle Organisations- = Sequentielle Entwicklung bis zu einer gewissen Tiefe, nach Selektion orientierte Suche	Operatoren-Bewertungsorganisations- = Der Knoten, der von best bewerteten Operatoren erzeugt wurde, wird als nächster untersucht.	Kein expliziter Ausschluß
1.2. Ausschlußentscheidung	Organisatorischer Ausschluß = Schluß der besten Knoten wird auf eine festgelegte Anzahl begrenzt	Bewertungsbasierender Ausschluß = Es wird für jeden Knoten geprüft, ob eine weitere Betrachtung auf keinen Fall sinnvoll ist	Inhaltlicher Ausschluß = Die erzeugten Knoten werden in Bezug auf ihre Heuristikalität gegeneinander verglichen und quasi-identische Knoten ausgeschlossen	Stufen- oder Zweigweiser Ausschluß = Nur die Knoten der ersten Stufe/Zweig werden weiter betrachtet	Kombination verschiedener Ausschüßverfahren	Kein expliziter Ausschluß
1.3. Bewertungsentscheidung	Bewertung mit Hilfe einer plausiblen Kennziffer	Bewertung d. relativen (Fehlertoleranz) (Opportunitätsbewertung)	Bewertung d. relativen (Fehlertoleranz) (Opportunitätsbewertung)	Begrenzt vor-ausgehende heuristische Bewertung = Heuristische Lösung des Problems bis zu einer gewissen Tiefe	Begrenzt vor-ausgehende heuristische Bewertung = Heuristische Lösung des Problems bis zu einer gewissen Tiefe	Bestimmte Bewertung = Die Bewertungsverfahren werden im Lösungsprozess
2. <u>Operatormerkmale</u>						
2.1. Anwendungsentscheidung	Abnehmender Freiheitsgrad = Zahl der Operatoren nimmt im Lösungsprozess ab	Zunehmender Freiheitsgrad = Zahl der Operatoren nimmt im Lösungsprozess zu	Lernender Freiheitsgrad = Anzahl der Operatoren ist abhängig von Objektbewertung	Prinzip des besten Operators = Auf Grund von vorheriger Operatorbewertung gewählt	Konstanter Freiheitsgrad = Alle existierenden Operatoren sind gleichmäßig angewandt	
2.2. Reihenfolgeentscheidung	Sequentielle Reihenfolge = Anwendung d. Operatoren in einer fest vorgegebenen Reihenfolge	Bewertungsorientierte Reihenfolge = Anwendung d. Operatoren nach Maßgabe der Bewertung	Zufällige Reihenfolge	Parallele Organisations- = Alle Operatoren		
2.3. Bewertungsentscheidung	Externe Vorgabe der Operatorenbewertung	Bewertung auf Grund Objektanalyse (Hilf-Zweck-Analyse)	Bewertung auf Grund Zielkonfliktswechsels (Hilf-Umgebung-Konzept)	Bewertung auf Grund der erfinderten Lösungszustände	Bewertung auf Grund von Opportunitätskosten/erforderlichen Planungswerten	Bewertung auf Grund einer abschätzenden planungswertigen

Abb. 54: Morphologischer Kasten der Merkmale des Zustandstraumkonzeptes

Der in Abb. 54 zusammengestellte morphologische Kasten¹⁾ enthält in der Vorspalte die zu treffenden Entwurfsentscheidungen und in den Zeilen mögliche Entscheidungsalternativen. Seine Aufgabe ist nicht die erschöpfende Darstellung aller Alternativen, sondern die beispielhafte Darstellung von Entwurfsmöglichkeiten nach dem Zustandsraumkonzept. Da dieses Konzept sehr allgemein ist, kann der Morphologische Kasten auch keine Aussagen darüber machen, was bei einer konkreten Problemstellung als Operator und was als Objekt zu wählen ist. Aufgeführt werden nur die grundsätzlichen Gestaltungsmöglichkeiten, die bei gegebenen Operatoren und Objekten bei der Organisation des heuristischen Suchprozesses in einem Entscheidungsbaum bestehen.²⁾

6.3.2.2 Das Konzept der Lösungsverbesserung

"Häufig genügen die mit Eröffnungsverfahren gefundenen Lösungen nicht den gestellten Anforderungen."³⁾ Im einzelnen kann das bedeuten:

- (1) Das konstruierte heuristische Programm ist zwar in der Lage, zulässige Lösungen zu ermitteln, diese genügen aber in Bezug auf einige Bewertungskriterien nicht den Anforderungen des Entscheidungsträgers.
- (2) Das Anspruchsniveau des Entscheidungsträgers an eine Modellösung wandelt sich während des Prozesses, das ermittelte Ergebnis ist diesen Anforderungen anzupassen.
- 1) Dieser morphologische Kasten basiert auf Gedanken von Nilsson, N.J.: *Problem-Solving Methods in Artificial Intelligence*, a.a.O.
Müller-Merbach, H.: *Morphologie heuristischer Verfahren*, a.a.O.
Weissner, J.-D.: *Heuristische Programmierung*, a.a.O., S. 25-58
- 2) Zur konkreten Ausgestaltung dieses allgemeinen Konzepts für Investitionsplanungsprobleme vgl. Abschnitt 6.3.4
- 3) Müller-Merbach, H.: *Morphologie heuristischer Verfahren*, a.a.O., S. 82

Anliegen des Verbesserungskonzeptes ist es nun, von der bisherigen Lösung ausgehend ein Ergebnis zu erreichen, das diesen Anforderungen gerecht wird. Dadurch soll eine vollständig neue Lösung des Entscheidungsproblems mit dem damit verbundenen Planungsaufwand vermieden werden.

"Die Verbesserung einer bereits vorliegenden Lösung (Ausgangslösung) setzt sinnvollerweise an dieser Lösung an und versucht, sie durch Transformation zu verbessern."¹⁾

Dieser Transformationsprozeß muß die nicht erfüllten Bewertungskriterien ermitteln und versuchen, Lösungen zu erzeugen, die den Anforderungen genügen. Dies wird oft nicht in einem Schritt gelingen, gegebenenfalls sind in einem iterativen Prozeß mehrere Zwischenlösungen zu ermitteln, bis der gewünschte Endzustand erreicht werden kann.

Müller-Merbach unterscheidet bei heuristischen Verbesserungsverfahren zwei Arten von zu treffenden Entwurfsentscheidungen:²⁾

- (1) Die Nachbarschaftsentscheidung
"Unter der Nachbarschaft einer Bezugslösung versteht man ... die Bezugslösung selbst und die Gesamtheit aller anderen Lösungen, die nach bestimmten Regeln von der Bezugslösung aus zu erreichen sind (wie beim 'Springer' auf dem Schachbrett)."³⁾
Die die Nachbarschaft erzeugenden Vorschrift können ohne Berücksichtigung der relevanten Bewertungskriterien definiert sein. Dies wird in der Regel zu einer großen Anzahl ungezielter Verbesserungs Schritte führen (blinde
- 1) Weissner, J.-D.: *Heuristische Programmierung*, a.a.O., S. 92
- 2) Vgl. Müller-Merbach, H.: *Morphologie heuristischer Verfahren*, a.a.O., S. 83 ff
- 3) Eberdort, S. 83

Verbesserungssuche), ¹⁾ "wenn auch die Berechnung jeder einzelnen Alternativlösung mit wenig Aufwand durchzuführen sein mag." ²⁾
 Wesentlich aufwendiger ist eine gezielte Verbesserungssuche, die auf einer genauen Analyse der nicht erfüllten Bewertungskriterien der vorliegenden Lösung beruht. "Der Berechnung von Alternativlösungen ist also ein 'Filter' oder ein 'Test' vorgeschaltet, durch den Alternativlösungen, die offensichtlich keine Lösungsverbesserung bewirken können, von der expliziten Berechnung ausgeschlossen werden." ³⁾

Die Kunst der gezielten Suche liegt also in der Konstruktion von Filtern oder - positiv ausgedrückt - in der Entwicklung von zielgerichteten Nachbarschafts - Erzeugungsvorschriften, die ebenso wie die vorgelagerten Analyse-Vorschriften in einer programmierbaren Form formuliert werden müssen.

(2) Die Organisationsentscheidung

Während sich bei der stark materiell-orientierten Nachbarschaftsentscheidung nur wenige allgemeine Aussagen machen lassen, lassen sich die Merkmalsausprägungen des formalen Verfahrensaufbaus weitgehend generell und unabhängig vom Problemtyp formulieren. ⁴⁾

Bei der Organisation eines Verbesserungsverfahrens ist etwa darüber zu entscheiden, ob eine oder mehrere Ausgangslösungen zur gleichen Zeit betrachtet werden sollen, in welcher Reihenfolge die Nachbarschaftsoperatoren ange-

- 1) Zum Begriff vgl. Meissner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 93
- 2) Miller-Werbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 74
- 3) Eberdorf
- 4) Vgl. Eberdorf, S. 84

Merkmale	1	2	3	4	5
1. Nachbarschaftsdefinition	Extern vorgegebene Anzahl (externer Nachbarschaft)	Anzahl ist von Objektivbewertung abhängig	Anzahl ist vom Nachbarschaftsfilter abhängig	Anzahl ist vom Nachbarschaftsoperator abhängig	Keine Begrenzung (Nullstellige Enumeration)
1.1. Nachbarschaftsgröße (Anzahl der Elemente, die zur Disposition stehen)	Tausch von j Elementen in der Lösung gegen k Elementen in Nachbarschaft	Minuznahme von k Elementen aus der Nachbarschaft	sukzessive Elimination von Elementen aus der Lösung	Veränderung der Stellung von Elementen in der Lösung (nur bei bestimmten Problemstrukturen)	
1.2. Nachbarschaftsoperator (Konstruktionsregel für die Nachbarschaft)	Ausschluß von Nachbarschaftselementen, die nicht schon möglich sind, d.h. kritische Restriktion nicht berühren	Aufnahme nur der Elemente, die bei der Neuanordnung nicht berühren ("Lückenblöcke"-Konzept)	Aufnahme der Elemente mit dem besten Zielwert (Zielwertkonzept)	Aufnahme der Elemente mit der Grundlage einer speziellen Kennziffer	Kein Nachbar-schaftsfilter (ungetestete oder blinde Suche)
2. Organisationsentscheidung	Sortierte Reihenfolge der Lösung	Realisation erst nach vollständiger Ab-suchen der Nachbarschaft	Realisation erst dann, wenn die Verbesserung einen bestimmten Mindestbeitrag übersteigt	Realisation nach m Verbesserungsversuchen	
2.1. Realisation einer Lösungverbesserung	Zyklische Organisation: Die Operatoren werden in zyklischer Reihenfolge durchlaufen	Hierarchische Organisation: Ein Operator wird dann durch den nächsten ersetzt, wenn mit ihm keine Verbesserung mehr erzielt wird.	Sequentielle Organisation: Einmalige Anwendung der Operatoren in fest vorgegebener Reihenfolge	Bewertungsabhängige Organisation: Reihenfolge wird durch Objekt- bzw. Operatorbewertung bestimmt.	Zufällige Reihenfolge
2.2. Abbruchentscheidung	Eine Ausgangslösung - Beste Lösung - der Eröffnungsverfahrens- willkürlich modifiziertere Lösung d. Eröffnungsverfahrens	Konstante Anzahl von Ausgangslösungen, die von einem Eröffnungsverfahren ermittelt wurden.	Starre, bewertungsabhängige Anzahl - die besten m Knoten	Flexible, bewertungsabhängige Anzahl - alle Lösungen, die sich um k ₂ von der besten Lösung unterscheiden	Anzahl wird durch Objektmerkmale wie Überreflexion in Variablen festgelegt
2.3. Anzahl der betrachteten Ausgangslösungen	Starrer Abbruch nach Rangversuchen	Abbruch bei Erschöpfung des Ressourcenverrats (Rechenzeit)	Abbruch bei Erreichung eines Abbruchniveaus (optimalitäts- oder "Upper Bound")	Abbruch bei Erreichung eines vorgegebenen Anspruchsniveaus - Verbesserung um mindestens k ₂ o.ä.	
2.4. Abbruchentscheidung					

Abb. 55: Morphologischer Kasten des Verbesserungskonzeptes

wendet werden sollen, wann eine Verbesserung zu realisieren ist und wann schließlich der Verbesserungsprozess abgebrochen werden soll.

Mögliche Merkmalsausprägungen für die zu treffenden Entscheidungen beim Entwurf eines Verbesserungsverfahrens sind wiederum in einem morphologischen Kasten zusammengestellt (vgl. Abbildung 55).¹⁾

Es sei darauf hingewiesen, daß auch das Verbesserungskonzept auf Lösungszuständen und Operatoren aufbaut, die diese Objekte in neue Zustände transformieren. Damit sind die beim Zustandsraumkonzept abgeleiteten Aussagen auch für den Entwurf von Verbesserungsverfahren gültig. Der morphologische Kasten umfaßt daher nur Entwurfsprinzipien, die spezifisch für Verbesserungsverfahren sind.

6.3.2.3 Das Konzept des Methodenverbundes

Beim Verbesserungskonzept werden verschiedene Heuristiken miteinander kombiniert, um für das Entscheidungsproblem eine das Anspruchsniveau erfüllende Lösung zu ermitteln. Während dabei jeweils das gleiche Entscheidungsmodell durch unterschiedliche Methoden bearbeitet wird, wird beim "Konzept der Problemzerlegung" die Problemstellung in eine Reihe leichter handhabbarer Teilprobleme zerlegt, die dann jeweils mit Hilfe einfacher Verfahren gelöst werden sollen.²⁾

- 1) Der morphologische Kasten entwickelt die Entwurfsmöglichkeiten weiter, die von Miller-Merbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O. und darauf aufbauend von Meißner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 91 ff erläutert worden sind. Vgl. auch denselben; Eine Typisierung heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O.
- 2) Vgl. dazu Nilsson, N.J.; Problem Solving Methods in Artificial Intelligence, a.a.O., S. 80 ff und Meißner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 59 ff sowie Abschnitt 5.2.2 dieser Arbeit

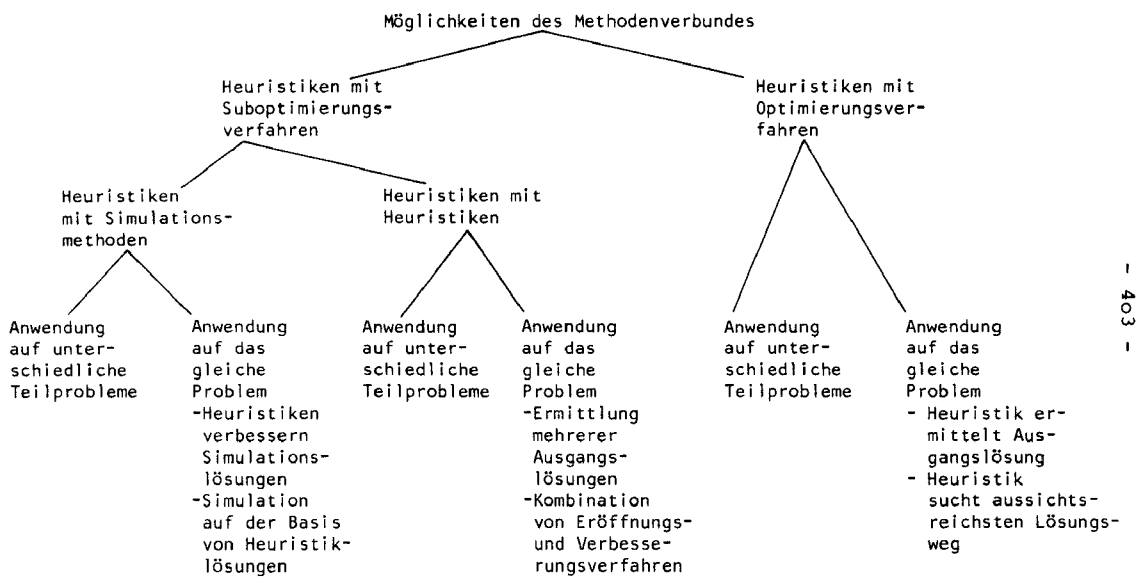


Abb.56 : Möglichkeiten des Methodenverbundes

Neben dieser Differenzierung in den vertikalen (Lösungsverbesserung) und den horizontalen Methodenverbund ist generell zu unterscheiden zwischen dem Verbund von Heuristiken mit anderen Suboptimierungsverfahren und der Verbindung von Heuristiken mit Algorithmen.¹⁾ "Beim heuristisch-algorithmischen Verbund werden heuristische und algorithmische Teile miteinander gekoppelt."²⁾ Insbesondere werden heuristische Verfahren oft exakten Verfahren vorgeschaltet und dienen der Bereitstellung guter Ausgangslösungen.³⁾

Ziel des Methodenverbundes ist es, durch Aufspaltung der Gesamtproblemstellung und Verwendung jeweils speziell zugeschnittener Verfahren eine Steigerung der Lösungsqualität beziehungsweise eine Verringerung des Planungsaufwandes zu erreichen. Der Planungsaufwand umfaßt dabei auch den Aufwand zur Koordination der einzelnen Lösungsverfahren.

Diese Abstimmung wird in der Regel selbständige Koordinationsverfahren erfordern, die von der einfachen Wertübertragung bis hin zu komplexen "Dekompositionsverfahren" reichen können.⁴⁾ Während für den rein-algorithmischen Verbund eine Reihe von Dekompositionsverfahren entwickelt worden sind,⁵⁾ von denen für gemischt-ganzzahlige Probleme insbesondere der Benders-Algorithmus von Interesse ist,⁶⁾ fehlen für den

- 1) Vgl. Weisser, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 104 ff
- 2) Ebertort, S. 104
- 3) Vgl. Müller-Werbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 72
Bekannt Beispiele für einen solchen Verbund sind etwa die Verfahren zur Lösung des Transportproblems und Entscheidungsverfahren zur Lösung ganzzahliger Planungsprobleme.
- 4) Vgl. dazu Abschnitt 5.2.2
- 5) Vgl. dazu Abschnitt 2.4 und für viele Tan, S.T.; Beiträge zur Dekomposition von Linearen Programmen, a.a.O.
- 6) Vgl. dazu Abschnitt 2.4.2 und Mc Daniel, D./Devine, M.; A Modified Benders Partitioning Algorithm for Mixed Integer Programming, in: MS Vol. 24 (1977), S. 312-319

heuristischen Verbund entsprechende Ansätze. Die analoge Verwendung der algorithmischen Dekompositionsverfahren scheitert an der fehlenden Konvergenz der heuristischen Lösungsverfahren. Meist begnügt man sich daher mit einem mehrfachen Hintereinanderschalten verschiedener Methoden. Bei einem gemischt-ganzzahligen Investitionsprogrammplanungsproblem bietet sich etwa die Ermittlung von zulässigen und guten ganzzahligen Variablenkombinationen durch heuristische Programme und deren sukzessive Vorgabe im linearen Programm zur Lösung des kontinuierlichen Teilproblems an.¹⁾

Zunehmende Bedeutung für die Investitionsplanung gewinnt ein Methodenverbund unter Einschluss von deterministischen oder stochastischen Simulationsmethoden. Eine Koppelung von Risikosimulation und Linearer Programmierung mit Hilfe einer heuristischen Auswahlregelung wird zum Beispiel von Salazar/Sen zur Lösung eines Investitionsprogrammplanungsmodells bei Unsicherheit verwendet.²⁾ Auch zur Erfassung komplizierter technischer Abhängigkeiten bietet sich ein solcher Verbund offensichtlich an,³⁾ da die Freiheitsgrade bei der Formulierung von Simulationsverfahren sehr viel größer sind als bei der Verwendung algorithmischer oder auch heuristischer Methoden.

An dieser Stelle sei auch der Verbund der menschlichen Problemlösungskapazität mit heuristischen Lösungsverfahren im

- 1) Vgl. dazu Liedmann, H.P./Biehn, J.; Zur Anwendung von heuristischen Methoden bei der Anwendung eines gemischt-ganzzahligen und separierbaren Investitionsproblems, a.a.O., insbesondere S. 366 ff
- 2) Vgl. Salazar, R.C./Sen, S.K.; A Simulation Model of Capital Budgeting under Uncertainty, a.a.O.
Eine andere heuristische Auswahlregel schlägt vor Eckel, U.; Die Berücksichtigung des Risikos, a.a.O., S. 93 ff
- 3) Vgl. dazu Steinbach, K.P.; Ein methodisches Konzept zur Analyse langfristiger komplexer Planungsprobleme, Diss. TU Berlin 1975 und derselbe: Ein Modell zur Langfristigen Investitionsplanung im Maschinenbau, in: Zfkr 29. Jg. (1977), S. 506-519

Rahmen eines interaktiven Konzepts erwähnt. ¹⁾ Dabei bewertet der Planende in jedem Schritt die von der Heuristik für das zugrundeliegende Entscheidungsmodell ermittelte Lösung und legt gegebenenfalls weitere Handlungsmöglichkeiten, Zielkriterien oder Restriktionen fest. "Im Verlauf einer einsichtsvollen Probierstrategie wird der Problemlöser versuchen, auf der Grundlage seiner Erfahrung und der sich im interaktiven Prozeß ergebenden Resultate eine Handlungsmöglichkeit festzulegen, die seinen Vorstellungen über die angestrebte Endsituation weitestgehend entspricht." ²⁾

Der interaktive Dialog des menschlichen Problemlösers mit einem heuristisch gelösten Entscheidungsmodell wird durch den geringen Rechenzeitbedarf von Heuristiken begünstigt, der einen zügigen Ablauf des Dialogs ermöglicht. Zudem kann der Planende bei heuristischen Verfahren im Unterschied zu den meist nicht durchschaubaren Algorithmen direkt in den Lösungsprozeß eingreifen, neue Elemente in die Heuristik einführen etc.

Inbesondere bei komplexen, nicht routinemäßig ablaufenden Planungsprozessen wie beispielsweise über das Investitionsbudget kann ein solch offenes und transparentes Planungssystem die Qualität der abgeleiteten Unternehmensentscheidungen stark verbessern.

1) Ein solches Konzept überschreitet natürlich den Rahmen eines reinen Methodenverbundes.

2) Witte, T.: Heuristisches Planen - Vorgehensweisen zur Strukturierung betrieblicher Planungsprobleme, Wiesbaden 1979, S. 169

6.3.3 Spezielle Konzepte zur Konstruktion von heuristischen Lösungsverfahren für Investitionsprogrammplanungsprobleme

6.3.3.1 Das Konzept der finanzwirtschaftlichen Vorteilmaßstäbe ¹⁾

Die Investitionstheorie hat eine Reihe von Verfahren zur ökonomischen Beurteilung von Investitionsalternativen entwickelt. "Klassisch" sind die einperiodischen und mehrperiodischen Vorteilmaßstäbe, wie etwa der (statische) Gewinn oder die (statische) Rentabilität auf der einen, der Kapitalwert und der Interne Zinsfuß auf der anderen Seite ²⁾ zu nennen.

Wie in Abschnitt 5.2.3 ausgeführt wurde, stellen diese Kriterien zur isolierten Beurteilung von Investitions- und Finanzierungsprojekten eine durch heuristische Abstraktion und Problemzerlegung entstandene Vereinfachung des Totalmodells dar. Die klassischen Partialmodelle ³⁾ setzen eine Reihe "unrealistischer" Prämissen, die eine Übertragung der Modellergebnisse auf die Realität erschweren. "Da es in Wirklichkeit keinen vollkommenen Kapitalmarkt gibt, können die Entscheidungen über das Investitions- und Finanzierungsprogramm nicht anhand der klassischen Partialmodelle erfolgen." ⁴⁾ Auch wenn man dieser Aussage D. Schneiders folgt und

1) Hier wird die Begriffsfassung von Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 176 ff verwendet.

Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 32 ff spricht von "Verfahren zur Lösung von Wahlentscheidungen".

Blohm, H./Lüder, K.: Investition, a.a.O., S. 49 ff von "Verfahren zur Beurteilung einzelner Investitionsprojekte bei sicheren Erwartungen" (ähnlich auch Kern, W.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 97 ff)

2) Zu den einzelnen Verfahren vgl. für viele Blohm, H./Lüder, K.: Investition, a.a.O., S. 49 ff und Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 34 ff

3) Zur Begriffsfassung vgl. Schneider, D.: Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 195 ff

4) Ebdardt, S. 197

somit die Eignung der klassischen Partialmodelle für Programmplanungsprobleme ablehnt, ¹⁾ so stellen insbesondere die mehrperiodischen Vorteilsmaßstäbe dennoch ein begründbares heuristisches Verfahren zur Lösung dieser Problemstellung dar. Diese "Begründbarkeit" der Lösungsmethode, die eine Heuristik von einem willkürlichen Verfahren abgrenzt, ²⁾ läßt sich plausibel daraus ableiten, daß zumindestens für die Kapitalwertmethode Bedingungen ableitbar sind, bei deren Einhaltung diese Methode die Ableitung des optimalen Investitionsprogramms ermöglicht. Es ist dazu notwendig, die Kalkulationszinsfüße so zu wählen, daß sie die Knappheit des Kapitals in jeder Periode widerspiegeln. Die Bedingungen für die Existenz dieser "endogenen Kalkulationszinsfüße" sind zwar allgemein nur für den kontinuierlichen Fall, ³⁾ bei Beachtung von Ganzzahligkeitsbedingungen nur bei speziellen Annahmen abzuleiten, doch sind auch in diesem Fall die Zinsfüße der kontinuierlichen Lösung eine gute heuristische Abschätzung der benötigten Kalkulationszinsfüße. ⁴⁾

- 1) Die in dieser Arbeit vorgenommene Trennung zwischen Entscheidungsmodell und Lösungsmethode erscheint auf den ersten Blick beim "Klassischen Partialmodell" sinnlos. Wie die intensiven Auseinandersetzungen in der Investitionstheorie über die Eignung bestimmter "Klassischer Partialmodelle" jedoch zeigen, ist die Unterscheidung auch in diesem Fall sinnvoll, in dem strenggenommen die vier Grundrechenarten die Lösungsmethode darstellen. Vgl. zum Beispiel die Auseinandersetzung um "Kapitalwert vs. Interner Zinsfuß" bei Hosterbach, E.; Einige kritische Bemerkungen zur Kapitalwert-Methode, in: ZfB 40. Jg. (1970), S. 613-620 - Haberstock, L.; Einige kritische Bemerkungen zur Kapitalwert-Methode, Stellungnahme zu dem gleichnamigen Aufsatz von Hosterbach, E., in: ZfB 41. Jg. (1971), S. 285-288 - Hosterbach, E.; "Kapitalwert oder Interner Zinsfuß?" Gleichzeitig eine Entgegnung an Dr. L. Haberstock, in: ZfB 42. Jg. (1972), S. 201-216 - Haberstock, L.; "Kapitalwert oder Interner Zinsfuß?" Stellungnahme zu dem Aufsatz von E. Hosterbach, in: ZfB 42. Jg. (1972), S. 216-218 - Hosterbach, E.; Noch einmal: "Kapitalwert oder Interner Zinsfuß?" Ein Schluswort, in: ZfB 42. Jg. (1972), S. 376-377
- 2) Vgl. Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, S. 148
- 3) Vgl. Abschnitt 6.3.3.2
- 4) Vgl. Hellwig, K.; Die Lösung ganzzahliger Investitionstheoretischer Totalmodelle durch Partialmodelle, Weisenheim am Glan 1973 und derselbe; Die approximative Bestimmung optimaler Investitionsprogramme mit Hilfe der Kapitalwertmethode, in: ZfB 28. Jg. (1976), S. 166-172

Da die finanzwirtschaftlichen Vorteilsmaßstäbe zudem in der Praxis weit verbreitet und einfach zu berechnen sind, verwenden fast alle materiell-orientierten Heuristiken diese Vorteilhaftigkeitskriterien. ¹⁾

Die bekanntesten dynamischen Verfahren sind die Kapitalwertmethode, die Interne-Zinssatz-Methode und die Annuitätenmethode. "Andere Verfahren wurden erst in jüngerer Zeit entwickelt oder wieder 'entdeckt'. ²⁾ Ziel dieser neueren Diskussion ist es, bestimmte Prämissen und Mängel der drei "klassischen" Verfahren zu beseitigen. ³⁾

Die dynamischen Verfahren lassen sich in vier Klassen einteilen: ⁴⁾

- (1) Die Nutzenkriterien, ⁴⁾ auch Vermögenswertmethoden ⁵⁾ oder Kapitalwertbezogene Rangfolgekriterien ⁶⁾ genannt.
 - (2) Die (mittelbaren) Parameterkriterien, ⁴⁾ treffender auch als Zinsfußmodelle ⁷⁾ oder verzinsungsbezogene Rangfolgekriterien ⁶⁾ bezeichnet.
 - (3) Die Entnahme- ⁸⁾ oder Einkommensmodelle.
 - (4) Die Amortisationsmodelle.
- 1) Vgl. dazu Abschnitt 6.2.2
- 2) Blom, H./Jüder, K.; Investition, a.a.O., S. 51
 - 3) Vgl. z.B. Kruschwitz, L.; Finanzmathematische Endwert- und Zinsfußmodelle, in: ZfB 46. Jg. (1976), S. 245-262 und Hax, H.; Investitionstheorie, S. 24 ff
 - 4) Vgl. alternativ die Begriffswahl von Franke, G.; Mittelbarer Parametervergleich als Entscheidungskalkül - Illusionen durch konventionsbedingte Rangordnungen, in: ZfB 30. Jg. (1978), S. 431-452, hier S. 431
 - 5) Vgl. Blom, H./Jüder, K.; Investition, a.a.O., S. 51
 - 6) Vgl. Siegel, T.; Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen, S. 4
 - 7) Vgl. Kruschwitz, L.; Finanzmathematische Endwert- und Zinsfußmodelle, a.a.O.
 - 8) Vgl. derselbe; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 83

Ein Einteilungskriterium ist dabei die vom Investor verfolgte Zielsetzung.

In Anlehnung an das von Kruschwitz entwickelte "System der allgemeinen Rechenregeln"¹⁾ lassen sich diese vier Grundtypen wie folgt kennzeichnen:

Wir unterscheiden folgende Einflußgrößen der dynamischen Investitionsrechnung:

- (1) z_0, z_1, \dots, z_T = Zahlungsreihe der zu beurteilenden Investition
- (2) s_1, s_2, \dots, s_T = Sollzinsen für Ergänzungskredite während des Planungszeitraums
- (3) h_1, h_2, \dots, h_T = Habenzinsen für Ergänzungskredite während des Planungszeitraums
- (4) T = Planungszeitraum des Investors
- (5) M = Startkapital des Investors im Zeitpunkt $t = 0$.
- (6) t^+ = Zielzeitpunkt des Investors
- (7) Y_1, Y_2, \dots, Y_T = Entnahmen des Investors während des Planungszeitraums
- (8) C_{t^+} = Vermögen des Investors im Zeitpunkt t^+

Die Einflußgrößen (1), (4) und (5) sind bei allen dynamischen Verfahren Parameter der Rechnung. Die vier Typen unterscheiden sich darin, welche der übrigen Größen unabhängige und welche abhängige Variable der Rechnung sind (vgl. Abb. 57).

1) Vgl. Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 61 ff und derselbe; Finanzmathematische Endwert- und Zinsfußmodelle, a.a.O., S. 246ff

	Gesucht	Gegeben	Parameter
Vermögenswertmodelle	C_{t^+}	$\bar{s}_t, \bar{h}_t, Y_t, t$	$(z_0, \dots, z_T), M, T$
Zinsfußmodelle			
Sollzinsmodelle	s_t	C_t, h_t, Y_t, t	$(z_0, \dots, z_T), M, T$
Habenzinsmodelle	h_t	C_t, s_t, Y_t, t	$(z_0, \dots, z_T), M, T$
Zinsfußmodelle bei vollkommenem Kapitalmarkt	$s_t = h_t = i$	C_t, Y_t, t	$(z_0, \dots, z_T), M, T$
Einkommensmodelle	Y_t	C_t, h_t, s_t, Y_t, t	$(z_0, \dots, z_T), M, T$
Amortisationsmodelle	t^+	C_t, h_t, s_t, Y_t	$(z_0, \dots, z_T), M, T$

Abbildung 57: Einteilung der finanzwirtschaftlichen Vorteilmaßstäbe

"Finanzmathematische Zinsfußmodelle beantworten die Frage nach demjenigen Zinsfuß für aufgenommene Kredite (Soll-Zinsfuß), der gerade noch hingenommen werden kann, damit ein bestimmtes" Vermögen zu einem bestimmten Zeitpunkt "erreicht wird."¹⁾

Während bei den Zinsfußmodellen somit das zu erreichende Vermögen vorgegeben wird und einer der beiden Zinssätze s oder h (unvollkommener Kapitalmarkt) beziehungsweise i (vollkommener Kapitalmarkt) zu berechnen ist, fragen die Vermögenswertmodelle nach dem zu erreichenden Vermögen bei gegebener Zinssituation zu einem speziellen Zielzeitpunkt. Demgegenüber maximieren Einkommensmodelle die Zielzahlungsreihe des Investors für alle Perioden des Planungszeitraums.

1) Vgl. Kruschwitz, L.; Finanzmathematische Endwert- und Zinsfußmodelle, a.a.O., S. 251. Kruschwitz spricht dort vom Endvermögen, durch die hier gewählte Formulierung soll der Zielzeitpunkt nicht auf das Ende des Planungszeitraums beschränkt werden.

Die drei bisher erwähnten Verfahrenstypen verfolgen finanzielle Zielsetzungen. Vermögens- und Einkommensmodelle verfolgen die gleichnamigen finanzwirtschaftlichen Ziele, während Zinsfußmodelle mit dem Rentabilitätsstreben in Zusammenhang stehen. Amortisationsmodelle lassen sich demgegenüber nicht unmittelbar auf finanzielle Ziele zurückführen. Ihr Ziel ist die Minimierung der Amortisationszeit, die definiert ist "als der Teil des Planungszeitraums, in welchem das für ein Investitionsobjekt eingesetzte Kapital zuzüglich einer Verzinsung in Höhe des Kalkulationszinssatzes aus den Rückflüssen des Projektes wiedergewonnen werden kann."¹⁾ Dahinter steht die Überlegung, daß längere Amortisationszeiten auch höhere Risiken für den Investor bedeuten. "In der Literatur herrscht Einigkeit darüber, daß die Amortisationszeit ein recht globales und für die Beurteilung des Investitionsrisikos nur bedingt geeignetes Kriterium ist."²⁾ Wir werden Amortisationsmodelle in der Folge daher vernachlässigen.

Die Zahl der in der Literatur vorgeschlagenen dynamischen Verfahren ist sehr groß.³⁾ Noch größer ist die Anzahl der Abhandlungen, die die Eignung der klassischen Partialmodelle zur Beurteilung von Investitionsalternativen diskutieren. Im

- 1) Bidm, H./Läder, K.: Investition, a.a.O., S. 75
- 2) Eberndorf, S. 78
- 3) Vergleichende Darstellungen verschiedener Methoden findet man bei Bernhard, R.H.: A Comprehensive Comparison and Critique of Discounting Indices Proposed for Capital Investment Evaluation, in: IEEE Vol. 16 (1971), S. 157-186, Kruschwitz, L.: Finanzmathematische Erwartungs- und Zinsfußmodelle, a.a.O. und Siegel, T.: Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen, a.a.O. und Treichrow, D./Robitsek, A.A./Montalbano, M.: Analyse der Kriterien der Investitions- und Finanzplanung bei Sicherheit, in: Albach, H. (Hrsg.): Investitionstheorie, Köln 1975, S. 92-121 (deutsche Übersetzung von dieselben; An Analysis of Criteria for Investment and Financing Decisions under Certainty, in: MS Vol. 12 (1966), S. 151-179)

Mittelpunkt dieser Diskussion stehen Investitionseinzelentscheidungen, die heuristische Eignung der Vorteilskriterien zur Bestimmung von Investitionsprogrammen wird vergleichsweise nur selten erörtert.^{1) 2)}

Dabei sind zwei Wege beschrieben worden. Der eine Weg versucht, durch logisch-analytische Überlegungen zu prüfen, inwieweit dynamische Verfahren in der Lage sind, Rangfolgen von Investitions- und Finanzierungsprojekten zu erzeugen, die zu einem zielwertmaximalen Investitionsprogramm führen.³⁾ Die andere Vorgehensweise versucht, diesen Nachweis durch eine Anzahl von numerischen Experimenten zu führen.⁴⁾

Leider sind die in diesen Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse nicht eindeutig und zudem nur schwer miteinander vergleichbar. Auch aus den Studien, die Vorteilskriterien mit anderen heuristischen Konzepten verbinden, lassen sich keine Aussagen über die Eignung bestimmter finanzwirtschaftlicher Vorteilskriterien ableiten. Generell scheinen aber die dynamischen Verfahren nur in Verbindung mit anderen heuristischen Regeln in der Lage zu sein, gute Lösungen für Investitionsprogrammplanungsmodelle zu ermitteln.⁵⁾

- 1) Vgl. etwa Hax, H./Lauk, H.: Entscheidungen über Investitionsprogramme auf der Grundlage von Kapitalwert und internem Zinsfuß, in: Läder, K. (Hrsg.): Investitionsplanung, München 1977, S. 205-216
- 2) Betrachtet werden in der Folge nur Untersuchungen, die die finanzwirtschaftlichen Vorteilskriterien in ihrer Ursprungsform und nicht ergänzt um zusätzliche heuristische Regeln zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsproblemen verwenden.
- 3) Dieser Weg ist etwa beschrieben worden von Hax, H.: Investitionstheorie, a.a.O., S. 62 ff und Siegel, T.: Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen, a.a.O.
- 4) Diesen Weg beschreiben etwa Thuesen, G.J.: Decision Techniques for Capital Budgeting Problems, Diss. Stanford University 1967 und Kruschwitz, L.: Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, in: ZfB 47. Jg. (1977), S. 209-224
- 5) Vgl. etwa die Ergebnisse von Spielregel 1 bei Kruschwitz, L.: Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O., S. 218 ff

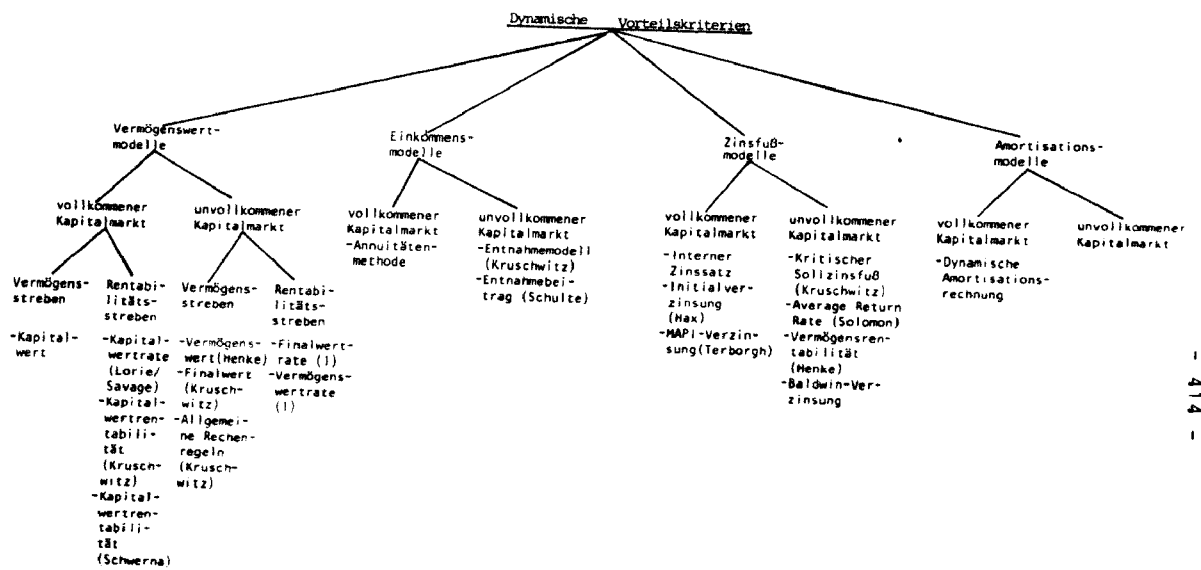


Abb. 58: Ausgewählte dynamische Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe zur Beurteilung von Investitionsprojekten

6.3.3.2 Das Konzept des "endogenen" Zinsfußes

Die finanzwirtschaftlichen Vorteilskriterien "vermögli- chen", über einzelne Projekte oder über die Auswahl aus einer Menge einander ausschließender Projekte unabhängig davon zu entscheiden, welche anderen Projekte es gibt und zu welchen Ergebnissen man bei ihrer Beurteilung kommt. Arbeitet man mit diesen Entscheidungsregeln, so kommt also das Investi- tionsprogramm durch eine Vielzahl unabhängiger Einzelen- scheidungen über Investitionsprojekte zustande.¹⁾ Da sowohl die Modellstruktur der Partialmodelle wie auch die erforder- lichen Lösungsmethoden sehr viel weniger komplex sind als Simultanplanungsmethoden, würde die Möglichkeit der Bestim- mung optimaler Investitionsprogramme mit Hilfe isolierter Projektbewertungen eine erhebliche Erleichterung für die In- vestitionsplanung bedeuten.

Die theoretische Grundlage zur Bestimmung optimaler Investi- tionsprogramme bietet das "Konzept der endogenen Zinsfüße", das aus dem Preistheorem der Linearen Programmierung abge- leitet werden kann:²⁾

Gegeben sei ein Modell der simultanen Investitionsprogramm- und Finanzierungsplanung vom Weingartner-Typ³⁾ mit folgenden Prämissen:

1) Hax, H./Laux, H.: Investitionstheorie, in: Menges, G. (Hrsg.): Bei- träge zur Unternehmensforschung, Würzburg-Wien 1969, S. 227-284, hier S. 228

2) Vgl. etwa die Ableitungen bei Weingartner, H.M.: Mathematical Program- ming and the Analysis of Capital Budgeting Problems, a.a.O., S. 24 ff und Hax, H.: Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O., S. 439 ff - Einen anderen Weg der Ableitung aus einem nichtlinearen Programm beschreibt Hax, H.: Investitions- theorie, a.a.O., S. 98 ff

3) Vgl. dazu Weingartner, H.M.: Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems, a.a.O., S. 158 ff

- (1) Ziel des Investors ist die Maximierung des Vermögens zum Ende des Planungszeitraums C_T .
- (2) In jedem Jahr des Planungszeitraums stehen Geldmittel M_t für Investitionszwecke zur Verfügung.
- (3) Der Investor hat die Wahl zwischen Projektinvestitionen x_i , die jeweils feste Zahlungen z_{ti} verursachen, und Finanzanlagen x_t^E , die jeweils Erträge in Höhe der periodenabhängigen Habenzinsen h_t erbringen.
- (4) Zur Finanzierung des Investitionsprogramms steht neben den erwähnten Eigenmitteln eine Kreditmöglichkeit y_t^E zur Verfügung, die Kreditkosten in Höhe von s_t verursacht.

Die Zielfunktion des Modells hat dann folgende Form:

$$(a1) \sum_i z_{Ti} x_i + x_{T-1}^E (1+h_{T-1}) - y_{T-1}^E (1+s_{T-1}) = \max$$

Die Liquiditätsbedingungen ergeben sich als

$$(a2) \sum_i z_{1i} x_i - x_1^E + y_1^E = -M_1 \text{ für Periode 1}$$

$$(a3) \sum_i z_{ti} x_i + x_{t-1}^E (1+h_{t-1}) - x_t^E - y_{t-1}^E (1+s_{t-1}) + y_t^E = M_t$$

Alle Projekte seien in beliebiger Stückelung durchführbar;

für die Projektinvestitionen existiert eine Obergrenze:

$$(a4) 0 \leq x_i \leq \bar{x}_i \text{ für alle Projekte } i$$

$$(a5) x_t^E \geq 0 \text{ für die Finanzanlagen aller Perioden}$$

$$(a6) y_t^E \geq 0 \text{ für die Kreditmöglichkeiten aller Perioden}$$

Das Dualproblem zu diesem linearen Programmierungsansatz hat folgende Formulierung:¹⁾

$$(b1) \sum_t u_t M_t + v_i = \min$$

$$(b2) \sum_t u_t z_{ti} + v_i \leq z_{Ti} \text{ für alle } i$$

¹⁾ Vgl. Weingartner, H.M.; *Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems*, a.a.O., S. 143 ff

$$(b3) -u_t + (1+h_t) u_t \leq 0 \text{ für alle } t$$

$$(b4) u_t + (1+s_t) u_t \leq 0$$

"Die duale Aufgabe ist eine Minimaxaufgabe. Die Koeffizienten der Zielfunktion sind die Beschränkungszahlen der primalen Aufgabe. Die Matrix der Nebenbedingungen ... ist transponiert, die Richtung der Ungleichungen hat sich verändert, und als Beschränkungen treten die Koeffizienten der Zielfunktion von" (a1) - (a6) "auf."¹⁾

Die Restriktionen (b2) korrespondieren mit den Investitionsalternativen im Primalproblem, während die Bedingungen (b3) und (b4) von den Finanzanlagen beziehungsweise Kreditmöglichkeiten stammen.

Nach dem Preistheorem der Linearen Optimierung stellen die Zahlen $x_1^+, \dots, x_n^+, x_{T-1}^+, y_1^+, \dots, y_{T-1}^+$ genau dann eine optimale Lösung der Aufgabe (a) dar, wenn folgende Beziehungen gelten:²⁾

$$(c1) \sum_t u_t z_{ti} + v_i = z_{Ti}, \text{ wenn } x_i^+ = 0 \text{ (Projekt wurde realisiert)}$$

$$(c2) \sum_t u_t z_{ti} + v_i \leq z_{Ti}, \text{ wenn } x_i^+ > 0 \text{ (Projekt wurde nicht realisiert)}$$

$$(c3) u_t - (1+s_t) u_{t+1} = 0, \text{ wenn } y_t^+ \geq 0 \text{ (Kredit wurde aufgenommen)}$$

$$(c4) u_t - (1+s_t) u_{t-1} \leq 0, \text{ wenn } y_t^+ = 0 \text{ (Kredit wurde abgelehnt)}$$

$$(c5) u_t - (1+h_t) u_{t+1} = 0, \text{ wenn } x_t^+ > 0 \text{ (Finanzlage wurde getätigt)}$$

¹⁾ Dück, W./Bliefert, M. (Hrsg.): *Operationsforschung 2 - Mathematische Grundlagen, Methoden und Modelle*, Berlin 1972, S. 160

²⁾ Vgl. dazu Miller-Wehbach, H.; *Operations Research*, a.a.O., S. 134 f. Diese Bedingungen entsprechen weitgehend den von Hax für den Fall einer nichtlinearen Zielfunktion mit Hilfe des Kuhn-Tucker-Theorems abgeleiteten. Vgl. Hax, H.; *Investitionstheorie*, a.a.O., S. 97 ff

$$(c6) \quad u_t - (1+h_t) u_{t+1} \leq 0, \text{ wenn } x_t^E = 0 \text{ (keine Finanzan-} \\ \text{lage in Periode } t)$$

Formal bedeuten diese Bedingungen, daß eine Variable dann in der Optimallösung des Primalproblems einen positiven Wert hat, wenn ihre korrespondierende Restriktion im Dualproblem genau erfüllt ist. Der Beweis läßt sich aus der Differentialrechnung mit Hilfe der Lagrangeschen Multiplikatoren führen. Die Beziehungen (c1) - (c6) ergeben sich dann aus den gleich Null gesetzten partiellen Ableitungen. 1)

Formt man die Bedingung (c1) um, so gilt:

$$(d1) \quad v_i = z_{Ti} - \sum_t u_t z_{Ti}$$

für alle in der Optimallösung des Primalproblems enthaltenen Variablen. Da zudem die Beziehung gilt:

$$(d2) \quad x_i^+ > 0 \implies v_i \geq 0$$

läßt sich (d1) ökonomisch wie folgt interpretieren: Der Wert eines akzeptierten Projekts ist der Überschub des Ziel funktionsbeitrages über die Summe der vorgelagerten Ein- und Auszahlungen, jeweils multipliziert mit dem Dualwert der Liquiditätsrestriktion der jeweiligen Periode.

Im folgenden soll nun gezeigt werden, daß sich der durch den Dualwert ausgedrückte "zeitliche Grenzgewinn des Geldes" als Aufzinsungsfaktor ausdrücken läßt:

Es soll für ein akzeptiertes Projekt f gelten:

$$(d2a) \quad x_f^+ > 0 \text{ mit } v_f = 0$$

1) Der Beweis ist sehr anschaulich bei Miller-Webach, H.: Operations Research, a.a.O., S. 134 geführt; auf eine eigene Ableitung sei daher hier verzichtet. Vgl. auch Dantzig, G.B.: Lineare Programmierung und Erweiterungen, Berlin-Heidelberg-New York 1966, S. 163-167

das heißt es existiert kein positiver Überschub des Ziel funktionsbeitrages z_{Tf} über die mit den Dualwerten multiplizierte Zahlungssumme (vgl. (d1)).

Weiterhin soll der Investor sich in allen Perioden einem Liquiditätsspaß gegenübersehen haben und war infolgedessen gezwungen, in jeder Periode Kredite in Höhe von y_t^E aufzunehmen. Diese Annahme schließt gleichzeitige Finanzanlagen aus, so daß gilt:

$$(d3) \quad y_t^E > 0 \quad \text{und} \quad x_t^E = 0 \text{ in allen Perioden } t.$$

Nach dem Preistheorem der Linearen Programmierung existiert für jede im Optimaltableau akzeptierte Variable ein nichtnegativer Dualwert:

$$(d4) \quad y_t^E > 0 \implies u_t = 0$$

Die Beziehung (c3) kann somit nur erfüllt sein, wenn gilt:

$$(d5) \quad \frac{u_t}{u_{t+1}} = (1 + s_t)$$

Das Verhältnis der Dualwerte zweier aufeinanderfolgender Perioden entspricht also im Falle benötigter Kredite dem entsprechenden Sollzins-Aufzinsungsfaktor.

Auf die gleiche Weise kann abgeleitet werden, daß im Falle von getätigten Finanzanlagen gilt:

$$(d6) \quad \frac{u_t}{u_{t+1}} = (1 + h_t)$$

Wir halten also fest, daß das Verhältnis der Dualwerte der Liquiditätsrestriktionen zweier Perioden den in diesem Zeitraum geltenden "richtigen" Aufzinsungsfaktor angibt.

Gilt auf einem unvollkommenen, unbeschränkten Kapitalmarkt

$$(d7) \quad s_t > h_t$$

so läßt sich zeigen, daß auch gelten muß: 1)

$$(d8) \quad (1 + h_t) \leq \frac{u_t}{u_{t-1}} \leq (1 + s_t)$$

wobei im Falle von $y_t^{Et} > 0$ der Aufzinsungsfaktor auf Grundlage der Sollzinsen, bei $x_t^{Et} > 0$ hingegen der auf Basis der Habenzinsen gilt. Nur in dem Fall, daß ein oder mehrere Investitionsprojekte im optimalen Programm nicht ganzzahlig enthalten sind, ergibt sich ein "endogener Zins" im Intervall zwischen Soll- und Habenzinsen.

"Ergebnis ist also: Wird im Zeitpunkt t Geld auf dem Kapitalmarkt angelegt, so ist der bis zum folgenden Zeitpunkt geltende Kalkulationszinsfuß gleich dem Kalkulationszinsfuß gleich dem Aufnahmefuß. Wird im Zeitpunkt t weder Geld angelegt noch aufgenommen, so liegt der Kalkulationszinsfuß in dem von Anlage- und Aufnahmefuß begrenzten Intervall." 2)

Es sei daran erinnert, daß diese Aussage nur für den Fall eines unbeschränkten Kapitalmarktes und für ein Investitionsprogramm ohne Beachtung von Ganzzahligkeitsbedingungen gilt.

Der ökonomische Sinn dieser Interpretation der Dualvariablen, die sich ja erst aus der bereits vorliegenden optimalen Lösung des Linearen Modells ergeben, ergibt sich aus den Beziehungen (d1) und (d2). Danach führt nur die Aufnahme der Investitionsprojekte zum optimalen Investitionsprogramm, deren Projektwert v_j nicht negativ ist. Interpretiert man diesen Projektwert als den auf T bezogenen Endkapitalwert EKW_j^T , so gilt offensichtlich:

1) Vgl. Hax, H.; Investitionstheorie, a.a.O., S. 101 ff

2) Ebendort, S. 105

$$(e1) \quad x_1^+ \geq 0 \quad EKW_1^T = \sum_{t=0}^T z_{t1} \quad \prod_{t=0}^T (1+i_t)^{T-t} \geq 0$$

$$(e2) \quad x_1^+ \leq 0 \quad EKW_1^T = \sum_{t=0}^T z_{t1} \quad \prod_{t=0}^T (1+i_t)^{T-t} \leq 0$$

mit

$$(e3) \quad i_t = \frac{u_t}{u_{t+1}} - 1 \quad (\text{endogener Zinsfuß})$$

"Es ergibt sich also: Projekte mit positivem Kapitalwert werden in höchstzulässigem Umfang durchgeführt, Projekte mit negativem Kapitalwert werden nicht durchgeführt. Für Projekte mit einem Kapitalwert von Null bleibt offen, ob und in welchem Umfang sie durchzuführen sind." 1)

"Man hätte also ... die optimale Entscheidung auch mit Hilfe der (im Verhältnis zur linearen Optimierung rechnerisch viel einfacheren) Kapitalwertmethode treffen können, wenn man nur die endogenen Kalkulationszinsfüße gekannt hätte." 2) Die Zielkonformität bei Anwendung der endogenen Zinsfüße läßt sich nicht nur für die Kapitalwertmethode, sondern auch für andere finanzwirtschaftliche Vorteilmaßstäbe wie etwa die "Average return rate" 3) oder die Initialverzinsung 4) nachweisen, so daß man bei Wahl geeigneter Kalkulationszinsfüße die optimale Lösung mit einfachen heuristischen Regeln ermitteln kann. "Leider kennt man die exakten Werte der endogenen Kalkulationszinsfüße aber erst, wenn man das Problem mit Hilfe der Simplex-Methode bereits gelöst hat, also weiß, wie die optimale Lösung aussieht." 5)

1) Hax, H.; Investitionstheorie, a.a.O., S. 100

2) Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 178

3) Vgl. Siegel, T.; Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen, a.a.O., S. 11 ff

4) Vgl. Hax, H.; Investitionstheorie, a.a.O., S. 107 ff

5) Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 178

Einer unmittelbaren Verwendung finanzwirtschaftlicher Vorkriterien in Kombination mit dem endogenen Zinssatz stehen wie erwähnt somit zwei Aspekte entgegen:

(1) Zum einen sind die endogenen Kalkulationszinsfüße erst nach Lösung des Problems bekannt.

(2) Zum anderen "führt die Kapitalwertmethode nur dann stets zu einer richtigen Lösung des jeweiligen Entscheidungsproblems, wenn beliebige Teilbarkeit aller Projekte angenommen wird."¹⁾ In aller Regel muß jedoch davon ausgegangen werden, "daß Projekte - jedenfalls so weit es sich um Sachinvestitionen handelt - nicht beliebig, sondern nur in festen Größenkategorien durchführbar sind. Die Berücksichtigung dieses Sachverhaltes führt im mathematischen Ansatz zu ganzzahligen Programmen."²⁾ Für solche Programme lassen sich aber nur unter bestimmten Prämissen allgemeine Bedingungen für endogene Kalkulationszinsfüße ableiten.³⁾

Um das Konzept der endogenen Kalkulationszinsfüße dennoch zur heuristischen Lösung von Investitionsprogrammplanungsproblemen anwenden zu können, müssen somit heuristische Regeln entwickelt werden, die

(1) bereits vor Kenntnis der Optimallösung Kalkulationszinsfüße abschätzen, mit deren Hilfe eine hinreichend gute Entscheidung bei Anwendung geeigneter finanzieller Vorkriterien ableitbar ist;

(2) dabei auch die Ganzzahligkeitsbedingungen für die Projekte berücksichtigen.

- 1) Hellwig, K.: Die approximative Bestimmung optimaler Investitionsprogramme mit Hilfe der Kapitalwertmethode, a.a.O., S. 166
- 2) Hellwig, K.: Die Lösung ganzzahliger Investitionstheoretischer Totalmodelle durch Partialmodelle, a.a.O., S. 12
- 3) Vgl. ebendort

Die Konstruktion entsprechender Heuristiken kann zum einen auf der mathematischen Analyse der Dualvariablen ganzzahliger linearer Programme aufbauen,¹⁾ zum anderen eine detaillierte ökonomische Analyse der Entscheidungssituation nutzen. Besonders dieser letzte Weg scheint aussichtsreich, da sich aus einer Analyse der ökonomischen Entscheidungssituation und der dort herrschenden Engpaßbereiche auch vor Kenntnis des mathematischen Optimums Wertebereiche für die endogenen Bewertungsfaktoren ableiten lassen.²⁾

Bisher existieren heuristische Überlegungen zur Abschätzung der endogenen Kalkulationszinsfüße nur für Problemstellungen der simultanen Investitions- und Finanzplanung. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

(1) Für den Fall eines unvollkommenen, unbeschränkten Kapitalmarkts liegen die endogenen Kalkulationszinsfüße im Intervall zwischen Soll- und Habenzins (vgl. Beziehung (d8)).

(2) Auch bei ganzzahligen Programmen gilt, daß in den Perioden, in denen Geld auf dem Kapitalmarkt angelegt wird, der endogene Zinsfuß dem Habenzins entspricht, während bei Finanzmittelaufnahme der Sollzins anzusetzen ist. Durch vorgelagerte Überlegungen über die voraussichtlichen Liquiditätsüberschuß- beziehungsweise -engpaßperioden läßt sich also in vielen Fällen eine richtige Wahl des Kalkulationszinsfußes erreichen.

(3) Für den Fall, daß neben den Liquiditätsrestriktionen nur

1) Diesen Weg beschreibt Hellwig in seinen verschiedenen Veröffentlichungen.

2) Vgl. Hellwig, K.: Die approximative Bestimmung optimaler Investitionsprogramme mit Hilfe der Kapitalwertmethode, a.a.O., S. 166
Einen Überblick über mögliche Elemente von Investitionsprogrammplanungsmodellen gibt Abschnitt 2.2

noch Projekthöchst- beziehungsweise -untergrenzen zu beachten sind, läßt sich zudem ableiten, daß die Anzahl der nichtganzzahligen Lösungswerte niemals die Zahl der Planungsperioden übersteigen kann. "The maximum number of fractional projects in any basic solution is equal to the number of periods T, for which budget constraints are imposed."¹⁾ Diese Zahl erhöht sich gegebenenfalls um die Anzahl der Nebenbedingungen, in denen Projektabhängigkeiten definiert werden. "Da die in der Praxis gegebenen Investitionsprogramme aus weit mehr Einzelprojekten als aus Planungsperioden bestehen, kann angenommen werden, daß die Abweichungen zwischen kontinuierlichem und gemischt-ganzzahligen Programmen ... nicht gravierend sind. Darüberhinaus wird das ganzzahlige Optimum um so weniger vom kontinuierlichen Optimum abweichen, je kleiner die Projekte im Verhältnis zum Kapitalbudget sind."²⁾

Für Modelle der simultanen Investitions- und Finanzplanung lassen sich die erwähnten Schwierigkeiten bei der Abschätzung endogener Kalkulationszinsfüße durch diese Regeln somit vermindern. Für komplexere Problemstellungen fehlen solche Regeln bisher und müssen durch problemindividuelle Überlegungen über den möglichen Wertebereich der Bewertungsfaktoren ersetzt werden.

1) Weingartner, H.M.: Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems, a.a.O., S. 35
Vgl. auch Hax, H.: Investitionstheorie, a.a.O., S. 93 ff

2) Meißner, G.: Approximative Investitionsprogrammplanung mit Hilfe der Kapitalwertmethode - Diskussion eines Vorschlages von Hellwig, K.; Unveröffentlichte Hausarbeit am Institut für Betriebswirtschaftslehre der Technischen Universität Berlin (Prof. Dr. Kuschwitz) im WS 1976/77, S. 11

6.3.4 Die Verbindung von allgemeinen und speziellen Konstruktionskonzepten in einer Morphologie

6.3.4.1 Ziele der Morphologie

Die allgemeinen und speziellen Konstruktionskonzepte ergänzen sich gegenseitig. Während das Zustandsraum-, das Verbeserungs- und das Verbundkonzept vor allem eine Strukturierung des Problemlösungsprozesses ermöglichen, sind die finanzwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe und der endogene Zinsfuß vorzugsweise zur Bewertung der Projekte und Lösungszustände sowie der damit zusammenhängenden Selektionsentscheidungen brauchbar.

Es erscheint daher im Rahmen einer Entwurfsmethodologie für heuristische Verfahren zur Lösung von Investitionsprogrammplanungsmodellen sinnvoll, beide Konzepte zu verbinden.

"Ein wesentlicher Teil einer Entwurfsmethodologie besteht in der 'morphologischen Klassifikation' der einzelnen zu treffenden Entwurfsentscheidungen."¹⁾ Eine solche Klassifikation macht sowohl Aussagen über die einzelnen Verfahrenselemente und den Verfahrensablauf wie auch über die alternative Ausgestaltung jedes Elements. Im theoretischen Grenzfall einer vollständigen Aufzählung aller Verfahrensmerkmale und aller möglichen Konkretisierungen, würde sich jede denkbare Heuristik für das betrachtete Problem durch Kombination jeweils unterschiedlicher Elemente ergeben.²⁾

Als Darstellungsform einer morphologischen Systematisierung wird sehr häufig der morphologische Kasten benutzt.³⁾ Der

1) Müller-Werbach, H.: Morphologie heuristischer Methoden, a.a.O., S. 70
2) Vgl. Ropohl, G.: Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der morphologischen Methode in Forschung und Entwicklung, a.a.O., S. 499
3) Vgl. Schlicksupp, H.: Kreative Ideenfindung in der Unternehmung, a.a.O., S. 69 ff und Müller-Werbach, H.: The Use of Morphological Techniques for OR-Approaches to Problems, a.a.O., S. 129 ff

Nutzen einer morphologischen Klassifikation liegt in einer Aufteilung des Problems in separate Teilkomplexe und in einer Systematisierung der Lösungsmöglichkeiten. ¹⁾ "Aufgrund ihrer beschreibenden Funktion ermöglicht sie die ordnende Strukturierung und das sinnstiftende Verständnis umfangreicher und vielschichtiger Gegenstandsbereiche. In ihrer antizipierenden Funktion gestattet sie die Entdeckung, Erfindung und Konstruktion neuartiger Kombinationen aus an sich bekannten Lösungselementen." ²⁾

Die Schwierigkeiten der morphologischen Methode liegen in der Ableitung der Verfahrensmerkmale, der erschöpfenden Zustammenstellung aller Konkretisierungsmöglichkeiten und der Eliminierung von logischen und inhaltlichen Unwertmöglichkeiten. ³⁾ Für die Auswahl der Elemente einer Heuristik, für die sogenannte Verfahrenssynthese bietet die morphologische Klassifikation keine Hilfen an. "Die morphologische Klassifikation enthält noch keine Vorschläge zum Treffen von Entwurfsentscheidungen; sie sagt also weder aus, welche Verfahrenselemente, noch, in welcher Reihenfolge diese auszuwählen sind. Insofern ist die Morphologie nur ein Teil einer Methodologie, nicht aber bereits die Methodologie selbst. Vielmehr kann man die morphologische Klassifikation als die Analysephase, die Auswahl und Zusammensetzung der Verfahrenselemente als Synthesephase einer Methodologie auffassen." ⁴⁾

- 1) Vgl. Schlicksupp, H.; *Kreative Ideentindung in der Unternehmung*, a.a.O., S. 19
- 2) Ropohl, G.; *Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der morphologischen Methode in Forschung und Entwicklung*, a.a.O., S. 546
- 3) Vgl. ebendort, S. 499
- 4) Miller-Merbach, H.; *Morphologie heuristischer Verfahren*, a.a.O., S. 70

6.3.4.2 Morphologie von Eröffnungsverfahren

Eröffnungsverfahren sollen eine erste zulässige Lösung für das Entscheidungsproblem ermitteln. ¹⁾ Diese Aufgabenstellung läßt sich in den Kategorien des Zustandsraumkonzepts wie folgt beschreiben: ²⁾ Modifiziere den Ausgangszustand durch geeignete Operatoren so, daß - eventuell in mehreren Schritten - ein Endzustand entsteht, dessen Merkmale den Anforderungen möglichst gut entsprechen.

Im einfachsten Fall entsprechen die Zustände oder Objekte des Problems den jeweils erreichten Teillösungen, die durch bestimmte Merkmale wie zum Beispiel den erreichten Zielfunktionswert und den Schlupf der Nebenbedingungen gekennzeichnet sind. Die Operatoren sind hingegen Vorschriften, die angeben, welche Variablen zur Erzeugung einer neuen Lösung aufgenommen beziehungsweise ausgeschlossen werden.

Als Entscheidungsbaum dargestellt, entsprechen die Objekte den Knoten und die Operatoren den Pfeilen. Wie oben erläutert, läßt sich eine Heuristik als "gekapptes Entscheidungsbaumverfahren" betrachten. ³⁾ Diese formale Interpretation impliziert sechs Grundentscheidungen der Objekt- und Operatorenwahl, die problemspezifisch zu differenzieren und auszufüllen sind. ⁴⁾

- 1) Vgl. etwa Miller-Merbach, H.; *Heuristische Verfahren*, a.a.O., S. 348
- 2) Vgl. Abschnitt 6.3.2.1 und Meißner, J.-D.; *Heuristische Programmierung*, a.a.O., S. 25 ff
- 3) Vgl. Miller-Merbach, H.; *Morphologie heuristischer Verfahren*, a.a.O., S. 25
- 4) Vgl. Abschnitt 6.3.2.1. Vgl. auch die andere Einteilung bei Miller-Merbach, H.; *Morphologie heuristischer Verfahren*, a.a.O., S. 75 ff

Diese Grundentscheidungen sind durch die Entscheidungen während der Problemvorbereitung zu ergänzen. "Zuerst sind die 'Bausteine', die Elemente festzulegen, aus denen der gewünschte Plan aufzubauen ist. Diese Aufgabe ist nicht trivial, sie entspricht der Wahl der Variablen bei der Ausarbeitung eines Gleichungssystems." ¹⁾ In vielen Fällen sind diese Elemente mit den Variablen des zu lösenden Entscheidungsmodells nicht identisch. So kann es sich etwa zur Beachtung von Projektabhängigkeiten in der Investitionsplanung anbieten, Variablenkombinationen als Planelemente zu betrachten. ²⁾

Während der Problemvorbereitung ist ebenfalls festzulegen, was die relevanten Merkmale der Objekte sein sollen. Auch hier sind wiederum Abweichungen zur Formulierung des Entscheidungsmodells denkbar. Bildet das Modell etwa ein mehrdimensionales Zielsystem ab, so kann bei der Bewertung der Knoten durchaus nur eine Zielsetzung berücksichtigt werden. Häufig vernachlässigten heuristische Verfahren bestimmte Nebenbedingungen während des Lösungsprozesses, so daß die Objekte unzulässige Lösungen des Modells darstellen können. Erst für den Endzustand wird dann die Zulässigkeit gesichert. ³⁾

Gewissermaßen ist während dieser Problemvorbereitungsphase dem "Entscheidungsmodell" ein "Lösungsmodell" beizunordnen. Die dabei zu treffenden Entscheidungen sind in dem morphologischen Kasten der Abbildung 59 zusammengefaßt.

- 1) Zehnder, C.A.: Das Prinzip der heuristischen Methoden, in: Weinberg, F./Zehnder, C.A. (Hrsg.): Heuristische Planungsverfahren, Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Economics 13, Berlin - Heidelberg - New York 1969, S. 7-22, hier S. 16
- 2) Vgl. etwa Hax, H.: Investitionstheorie, a.a.O., S. 69 ff
- 3) Vgl. im Unterschied dazu Strein, H.: Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 150 ff
- 4) Bei der Betrachtung praktischer Problemstellungen sind die Grenzen zwischen der Problemvorbereitungsphase und der vorgelegten Modellbildungsphase allerdings oft fließend.

Merkmale	Merkmalsausprägungen				
	1	2	3	4	5
Problemvorbereitung					
1.1. Festlegung der Planelemente	Planelemente = Variable des Entscheidungsmodells (z.B. Investitionen und Kredite)	Planelemente = Aggregation von gleichartigen Variablen (Investitionen bzw. Kredite werden zu Variablengruppen zusammengefaßt)	Planelemente = Zusammenfassung voneinander abhängiger Variablen	Planelemente = Dualvariablen des ursprünglichen Problems (Ableitung aus der dualen Formulierung)	Planelemente = „Verfremdete“ Interpretation des Ursprungsproblems (Formulierung z.B. statt als Auswahlproblem als kombiniertes Zuordnungs-/Reihenfolgeproblem)
1.2. Festlegung der Objektmerkmale	Objektmerk. = Zielfunktionswert/ Variablenwerte/ Nebenbedingungsbeanspruchung (entsprechen voll den Elementen des Entscheidungsmodells)	Objektmerk. = Vernachlässigung einiger Elemente des Entscheidungsmodells (z.B. Restriktionen) - Zulässigkeit der Endlösung wird durch Routine gewährleistet. (Relaxierte Vorgehensweise)	Objektmerk. = Elemente d. Entscheidungsmod. + zusätzliche Maßstäbe zur besseren Objekt- und Operatorenwahl	Objektmerk. = Elemente der dualen Formulierung	Objektmerk. = Elemente eines "Lösungsmodells", das mit dem ursprünglichen Modell nur partiell übereinstimmt.

Abb. 59: Morphologischer Kasten der Entscheidungen bei der Problemvorbereitung

Auf der Grundlage dieses Lösungsmodells arbeitet das heuristische Lösungsverfahren. Die bei seiner Konstruktion zu treffenden Entwurfsentscheidungen sind Ausprägungen der sechs Grundentscheidungen der Operatoren- und Objektwahl. Diese Grundentscheidungen zerfallen jeweils in mehrere Entwurfsentscheidungen.

In der Folge werden diese Verfahrensmerkmale und die jeweils möglichen Merkmalsausprägungen im einzelnen abgehandelt. Dabei wird, soweit möglich, speziell auf die Möglichkeiten der Konstruktion von Investitionsplanungsheuristiken eingegangen. Die dabei gemachten Aussagen beruhen zum Teil auf der Analyse bekannter heuristischer Lösungsverfahren, ¹⁾ zum Teil auf den persönlichen Erfahrungen des Verfassers. In vielen Fällen handelt es sich aber auch um Plausibilitätsüberlegungen, mit denen bei anderen Heuristiken vorzufindende Verfahrensbestandteile analog auf Investitionsplanungsheuristiken übertragen werden. Ein solcher Transfer ist oft theoretisch möglich, führt nach Erfahrungen des Verfassers aber nicht unbedingt zu effizienten Verfahren.

6.3.4.2.1 Die Operator - Anwendungsentscheidung

Zunächst seien die Entscheidungen der Operatorenwahl behandelt. "Operators change one state into another."²⁾ Betrachten wir als Zustand etwa das in einer gewissen Lösungsstufe gefundene Investitionsprogramm, so gibt der Operator eine Vorschrift dafür an, wie aus dieser Lösung ein Programm entwickelt werden kann, das den Anforderungen besser entspricht beziehungsweise den Weg zu besseren Lösungen eröffnet.

1) Vgl. Abschnitt 6.2

2) Nilsson, N.J.: *Problem-Solving Methods in Artificial Intelligence*, a.a.O., S. 19

Einfache Operatoren erzeugen aus der vorhandenen Lösung einen Zustand, der sich in genau einem Planelement von dem Ausgangszustand unterscheidet. Ein Beispiel dafür ist die Aufnahme etwa einer Investition in jedem Lösungsschritt. Komplexere Operatoren können gleichzeitig mehrere neue Lösungen erzeugen, ¹⁾ die sich gegebenenfalls auch in mehreren Planelementen unterscheiden. ²⁾

Im Rahmen der Operatoren-Anwendungsentscheidung sind folgende Einzelentscheidungen zu treffen:

- (1) Wie viele Operatoren soll eine Heuristik abbilden (Operatoren-Anzahl)?
- (2) Welche Techniken zur Erzeugung neuer Lösungen sollen diese Operatoren verwenden (Operatoren-Typ)?
- (3) Wie viele Operatoren sollen in einem Lösungsschritt angewendet werden, das heißt wie viele Lösungen sollen aus einem Ausgangszustand jeweils erzeugt werden (Operator-Anwendung)?

Von diesen drei Entscheidungen, also der Definition der Regeln, nach denen die Investitions- und Finanzierungsprojekte in das Programm aufgenommen werden sollen, ist die Effizienz einer Heuristik sehr stark abhängig. Denkbar sind eine grobe Anzahl von Merkmalsausprägungen. Allerdings entstehen bei Wahl von komplexen Elementen oft sehr aufwendige Heuristiken, da

1) Vgl. zu einem entsprechenden Entscheidungsbaumverfahren für das Knapsack-Problem Miller-Merbach, H.: Ein Kaskadenbaumverfahren zur Lösung des "Knapsackproblems", in: *Angewandte Informatik*, 20. Jg. (1978), S. 494-505

2) Zur Operatorenwahl aus der Sicht des "Artificial Intelligence" vgl. Sandewall, E.J.: Heuristische Suche: Konzepte und Methoden, a.a.O.; zur Operatorenwahl aus der Sicht des Operations Research vgl. Miller-Merbach, H.: *Morphologie heuristischer Verfahren*, a.a.O., S. 79 ff - dort unter dem Stichwort "Verzweigungsentscheidungen"

Merkmale	Merkmaleausprägungen					
	1	2	3	4	5	6
2. Operator - Anwendungstyp (technisch)	Anfragen von Planellementen eines Typs, dann eines anderen Typs.	Wechselweises Anfragen von Planellementen unterschiedlicher Typen (z.B. in Abhängigkeit vom Objektwert).	Wechselweises Anfragen und Ausschließen von Planellementen eines Typs	Wechselweises Anfragen und Ausschließen von Planellementen unterschiedlicher Typen	Ausschließen von Planellementen eines Typs, dann Ausschließen eines anderen Typs	Ausschließen von Planellementen unterschiedlicher Typen
2.1. Operatorvorgang	Zuerst werden Investitionen, dann Kredite aufgenommen (ggf. in Abhängigkeit von der Objektbewertung)		- Eintracher Tausch - Kettentausch	- Ausgängerzustand erreicht - alle Projekte in gleicher Reihenfolge fertig werden (qualitativ vorgehen)		
2.2. Operatoranzahl (Anzahl der jeweils erzeugten Knoten)	Konstante Anzahl - Ein Operator erzeugt immer einen Folgeknoten - Eine feste Anzahl von Operatoren erzeugt die gleiche Anzahl von Folgeknoten	Zunehmende Anzahl von Operatoren (Freiheitsgrad) - Die Anzahl anzuwendender Operatoren ist fest vorgegeben.	Abnehmende Anzahl von Operatoren (Abnehmender Freiheitsgrad) - Feste Operatorenanzahl - Operatorenanzahl abhängig von der Anzahl	Lernprozessabhängige Anzahl von Operatoren (Lernender Freiheitsgrad) - Bewertungen der Objekte legen die anzuwendenden Operatoren fest.	Alle existierenden Operatoren werden - soweit möglich - auch angewendet	Operatorenanzahl der Operatoren ist vorgegeben
2.3. Operatoranzahl (Anzahl der in einer Heuristischen abgebildeten Operatoren)	Ein Operator für jeden Planellementtyp	Feste Anzahl von Operatoren	Situationsabhängige, alternative Vorgehen im Dialog	Feste Anzahl von Operatoren + Eingriff des Zufalls		

Abb. 60: Morphologischer Kasten der Operator - Anwendungstypen

sich viele Operatoren nur schwierig zweifelstfrei programmieren lassen und dazu eine Vielzahl von Fallunterscheidungen benötigen. Eine interessante Möglichkeit ist es daher, im heuristischen Programm selber nur wenige und einfache Operatoren zu erfassen und die Problemlösungsfähigkeit des Menschen interaktiv in der heuristischen Methode zu nutzen.

6.3.4.2.2 Die Operator - Reihenfolgeentscheidung

Einfache Heuristiken zur Lösung von Investitionsplanungsproblemen basieren oft auf einer sehr einfachen Aufnahmeregeln (= Operator): Nimm das Planellement in die Lösung auf, das den höchsten Rang hat. 1) Im Rahmen solcher Verfahren kommt der Operator-Reihenfolgeentscheidung zentrale Bedeutung zu. Wir wollen darunter die folgenden drei Einzelentscheidungen fassen:

- (1) In welcher Reihenfolge werden die relevanten Elemente zur Verzweigung herangezogen, 2) das heißt nach welchem Kriterium werden die Investitionen und Kredite geordnet (Abarbeitungsreihenfolge der Planellemente)?
- (2) Wird diese Abarbeitungsreihenfolge während des Lösungsprozesses beibehalten oder verändert (Revision der Abarbeitungsreihenfolge)?
- (3) In welcher Reihenfolge werden die Operatoren zur Erzeugung neuer Lösungen herangezogen (Operator-Reihenfolge)?

In Investitionsplanungsheuristiken wird die erste Entscheidung zumeist auf der Grundlage des Konzepts der finanzwirtschaftlichen Vorteilsmassstäbe getroffen, denkbar ist aber

1) Dies gilt zum Beispiel für die Prioritätsregelverfahren. Vgl. dazu die in Abschnitt 6.2 erläuterten Heuristiken.
2) Vgl. Müller-Merbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 80

Merkmale	1	2	3	4	5	6
3. Operator - Reihenfolge der Planelemente	Nach Finanzmerkmale - ein Kriterium - mehrere additiv/multiplikativ verknüpfte	Nach Zeitfunktionen - in allen	Nach Zeitfunktionen - in allen - in allen - in allen	Nach Restriktionsbedarf - "engster" Restriktion unter Berücksichtigung d. Objektmerkmale - alle Restriktionen gleichwichtig - "B. Liquiditätsbedarf in Periode mit d. geringsten Liquidität"	Nach speziellen Kennzeichen, die Planelemente unter Berücksichtigung d. Objektmerkmale bewerten - z.B. Liquiditätsbedarf in Periode mit d. geringsten Liquidität - v. Finanzmerkmalen auf der Basis von kumulierten Einzahlungsüberschüssen - z.B. Berechnung v. Finanzmerkmalen auf der Basis von kumulierten Einzahlungsüberschüssen	Zufällige oder formale Reihenfolge - in zufälliger Reihenfolge - d. Planmerkmale beeinflusst Zufallsprozess - nach Projektnumerierung
3.2. Revidierung der Reihenfolge	Anfangsordnung wird beliebig	Abarbeitungsreihenfolge wird nach jedem Schritt revidiert - gleiches Kriterium verliert	Abarbeitungsreihenfolge wird nach jedem Schritt revidiert - n. konstant - n. hängt von der Objektbewertung ab.			
3.3. Anwendungsreihenfolge der Operatoren	Sequentielle Reihenfolge (die Operatoren werden nacheinander in einer festgelegten Reihenfolge angewendet)	Geordnete Reihenfolge (die Operatoren werden in d. Reihenfolge ihrer Bewertung angewendet)	Parallelisierte Operationen (die Operatoren werden "quasi-simultaneously" angewendet; die Anwendungsreihenfolge ist ohne Bedeutung)	Zufällige Reihenfolge		

Abb. 61: Morphologischer Kasten der Operator - Reihenfolgeentscheidung

zum Beispiel auch die Heranziehung von Gradienten, des "Greatest-Change" oder des "Steepest Unit Ascent"-Kriteriums. ¹⁾ Wegen ihrer ökonomischen Plausibilität sind allerdings Rangfolgen nach Maßgabe eines Investitionsrechnungsverfahrens zu bevorzugen. Die Abbildung 61 gibt wiederum in Form eines morphologischen Kastens einen Überblick über mögliche Merkmalsausprägungen.

6.3.4.2.3 Die Operator - Bewertungsentscheidung

Wird die Reihenfolge der Operatoren durch ihre jeweilige Bewertung bestimmt, so muß mit einer entsprechenden Vorschrift abgeschätzt werden, wie groß die "Chance" ist, mit dem jeweiligen Operator eine bessere Lösung zu finden beziehungsweise den Weg zu besseren Lösungen zu öffnen. Der auf einer solchen Bewertung basierenden Auswahl des "richtigen" Operators kommt für die Lösungsgüte und den Planungsaufwand von heuristischen Verfahren große Bedeutung zu, da diese in aller Regel "geradlinig", das heißt ohne Rückkoppelungen auf den Lösungszustand zugehen. ²⁾

Man kann den hier angesprochenen Problembereich der Operatorenbewertung und damit der Operatorenwahl etwa am Beispiel des Schachspiels erläutern. In jedem Lösungsschritt steht der Schachspieler vor der Problem, einen Zug (Operator) zu wählen. Dieser Zug setzt sich aus zwei Elementen zusammen: der

1) Vgl. zu diesen Kriterien Abschnitt 6.2.2 oder für viele Miller-Werbach, H.; Operations Research, a.a.O., insbesondere S. 113 ff

2) Vgl. Miller-Werbach, H.; Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 663 ff - Meißner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 39 ff - Vgl. auch Nilsson, N.J.; Problem Solving Methods in Artificial Intelligence, a.a.O., S. 54 ff
Meißner, J.-D.; Bausteine zur heuristischen Programmierung, a.a.O., S. 96 ff und derselbe; Eine Typisierung heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O., spricht in diesem Zusammenhang von Zweigungsverfahren, bei denen die Ausschlußentscheidung extrem sei.

Merkmal	Merkmalsausprägungen					
	1	2	3	4	5	6
4. Operator - Bewertungsentscheidung						
4.1. Bewertung von Planelementen	Isolierte Bewertung mit Hilfe einzelner Kennziffern (z.B. ohne Angabe des Ausgangszustandes)	Analysierende Bewertung mit Hilfe einzelner Kennziffern (häufiger auf dem Grund der objektiven Analyse)	Abschätzende Bewertung d. Planelements durch rekonstruieren des optimalen (oder "optimalen") Zustandes	Abschätzende Bewertung d. Planelements mit Hilfe einer einfachen Heuristik (primale oder "spezifische" Abschätzung)	Abschätzende Bewertung d. Planelements durch Prognosen bis zu einem gewissen Stufen	Bewertung d. Planelements durch "Operatorkosten" (swalings ¹⁾)
4.2. Bewertung der Operatoren	Extern vorgegebene Bewertung	Bewertung auf Grund einer Knotenanalyse (Operatoren werden danach bewertet, inwieweit sie in der Lage sind, die Differenz zwischen Soll- und Ist-Zustand zu verringern) (Mittel-Zweck-Analyse)	Bewertung auf Grund des Ziel-funktionszuwachs (Hill-Climbing-Konzept)	Bewertung auf Grund der Anzahl der erforderten Iterationen, Lösungszeit und ggf. deren Qualität	Bewertung auf Grund des vor-ausgerichteten Planungsaufwandes	Bewertung gemäß der Verursachten Opportunitätskosten

Abb. 62: Morphologischer Kasten der Operator - Bewertungsentscheidung

Figur (= dem Planelement) und der mit ihr zu besetzenden Position ("Zug"- oder Verzweigungstechnik). Beide Elemente sind voneinander abhängig; jede Figur kann sich nur in einer eindeutig geregelten Weise bewegen. Die Bewertung jedes Zuges und damit auch die Auswahl orientiert sich an dem daraus resultierenden Zustand und bezieht dabei auch Merkmale ein, die die Entwicklungsmöglichkeiten dieser Position kennzeichnen.

Aus diesem Beispiel lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen:

- (a) Bewertung und Auswahl von Operatoren werden sich "vielfach" aus der Bewertung von Folgezuständen ableiten bzw. die Bewertung und der Ausschluß von Zuständen werden sich mit der Bewertung von Operatoren begründen lassen.¹⁾
- (b) Die Operatorbewertung zerfällt in eine Bewertung der Planelemente und in eine der Verzweigungstechnik. Beide Teilentscheidungen sind voneinander abhängig.

Wird die Planelement-Bewertung isoliert, das heißt ohne Analyse der Ausgangslösung getroffen, so entspricht sie der Entscheidung über die Abarbeitungsreihenfolge der Planelemente. Die Investitionsprojekte werden dann etwa nach Maßgabe eines finanzwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeitsmaßstabs herangezogen. Bessere Lösungen ermöglicht in der Regel natürlich eine Bewertung der Planelemente, die die Merkmale des bisherigen Zustandes einbezieht. Eine solche Bewertungsmethode ist jedoch auch aufwendiger, da sie in jedem Zustand die Berechnung neuer "relativer" Kennziffern beziehungsweise die Kalkulation der voraussichtlichen Lösungswirkung jedes Planelements erfordert.

Das Grundproblem der Bewertungsentscheidung, eine möglichst

1) Meißner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 47

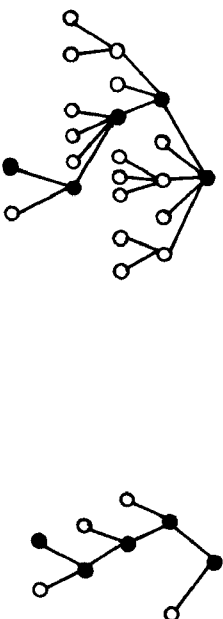
gute Abschätzung der Lösungswirkung mit einfachen Mitteln zu erreichen, wird noch deutlicher bei der Bewertung der Verzweigungstechnik. Oft sind nur sehr schwer allgemeine Regeln dafür zu formulieren, wann es zum Beispiel günstiger ist, eine Investition gegen eine andere im Programm "einzutauschen" statt sie zusätzlich in das Programm aufzunehmen. In vielen Fällen wird deshalb die Bewertung extern vorgegeben, zum Beispiel in Abhängigkeit von der Lösungsstufe.

Die Wahl der Operatoren ist der entscheidende Faktor für die Lösungsmächtigkeit und die Ressourcennächtigkeit einer heuristischen Methode.

Operatoren, die von vornherein nur solche Objekte erreichen beziehungsweise Investitionsprogramme zusammenstellen wollen, die möglichst gute Eigenschaften haben, müssen dazu eine Vielzahl von Rechenoperationen durchführen und sind daher aufwendig. Einfachere Operatoren haben zwar eine geringere Selektionswirkung, erzeugen aber dafür mit einem vorgegebenen Ressourcenvorrat eine größere Anzahl von Lösungen. Zwar sind diese vermutlich im Durchschnitt schlechter, doch kann sich unter der Vielzahl erzeugter Lösungen durchaus eine befinden, die besser ist als eine von der komplexen Heuristik erzeugte Lösung.

1) Zu den Begriffen vgl. Kirsch, W./Bamberger, I./Gabele, E./Klein, H.K.: Betriebswirtschaftliche Logistik, a.a.O., S. 455 ff - Weismar, J.D.: Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 19 ff - Kühn, R.: Entscheidungs methodik und Unternehmenspolitik - Methodische Überlegungen zum Aufbau einer betriebswirtschaftlichen Spezialdisziplin, erarbeitet am Gegenstandsbereich der Unternehmenspolitik, Berlin-Stuttgart 1978 - Vgl. auch Newell, A.: Heuristic Programming: Ill-structured Problems, a.a.O.

Vgl. dazu Abschnitt 6.3.5 und die dort angegebene Literatur



Heuristik A

Heuristik B

Abbildung 63: Gestalt des Entscheidungsbaums bei verschiedenen starker heuristischer Selektion und gleichem Ressourcenvorrat. 1)

In der Abbildung 63 ist Heuristik B zwar sicher das "intelligenteren" Verfahren, doch erzeugt Heuristik A eine Vielzahl von Lösungen, von denen sich unter Umständen einige nur wenig von der besten ermittelten Lösung unterscheiden. In der Investitionsplanung ist es oft der Fall, daß wesentliche Einflusfaktoren im Planungsmodell selbst nicht berücksichtigt werden können und in weiteren Schritten in den Planungsprozeß einbezogen werden. Insbesondere dann, wenn mit einfachen Entscheidungsmodellen gearbeitet wird, kann es somit günstig sein, wenn die Lösungsmethode neben einer sehr guten eine Vielzahl guter Lösungen erzeugt, unter denen der Entscheidungsträger dann unter Einbeziehung der restlichen Einflusfaktoren auswählen kann.

1) In Anlehnung an Klein, H.K.: Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 98

6.3.4.2.4 Die Objekt - Ausschlußentscheidung

Der Anzahl der von einer Heuristik erzeugten und betrachteten Lösungen hängt neben der Operatorwahl entscheidend davon ab, auf welche Objekte diese Operatoren angewendet werden. Die Objekt-Ausschlußentscheidung legt fest, "welche Lösungsuntermengen von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen, d.h. welche Knoten gestrichen werden." ¹⁾ Im Unterschied zu den algorithmischen Entscheidungsbaumverfahren ²⁾ schließen Heuristiken auch solche Objekte aus, für die nicht sicher ist, "daß die durch den Knoten repräsentierte Lösungsmenge die gesuchte optimale Lösung nicht enthält." ³⁾ Die Ausschlußentscheidungen bestimmen also wesentlich die Qualität eines Eröffnungsverfahrens. Im einzelnen ist festzulegen

- (1) die Objektanzahl, das heißt die Anzahl der gleichzeitig betrachteten Lösungsknoten.
- (2) die Ausschlußvorschrift, das heißt die Bedingungen, welche Knoten erfüllen müssen, damit sie weiter betrachtet werden.

Aus Gründen der Lösungsgüte empfiehlt es sich, jeweils mehr als einen Knoten im heuristischen Lösungsprozeß zu verfolgen. Der dadurch verursachte höhere Speicher- und Rechenzeitbedarf kann in vielen Fällen durch einen geringeren Aufwand bei der Objektbewertung und der Operatorwahl ausgeglichen werden.

- 1) Miller-Merbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 76
- 2) Darunter sollen hier die Verfahren der dynamischen Optimierung, der impliziten Enumeration und des Branch-and-Bound verstanden werden.
- 3) Miller-Merbach, H.: Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 665

Merkmale	Merkmaleausprägungen					
	1	2	3	4	5	6
5. Objekt - Ausschlußentscheidung						
5.1. Ausschlußvorschrift	Organisatorischer Ausschluß - der zuerst erzeugten Endknoten - bis auf die aller Knoten, die nicht mit Hilfe des verfügbaren Speicherplatzes gespart werden können	Bewertungsmäßiger Ausschluß (Objektbewertung) - Ist-Bewertung besser als Funktionwert - Voraussetzungen besserer Ziel-funktionswert - x_k	Inhaltlicher Ausschluß - alle unzulässigen Knoten für die unzulässige Voraussetzung - prognostiziert wird - (bis auf einen) mit Lösung lösbar	Ausschluß auf Grund Operatorbewertung - alle Knoten werden betrachtet - Objekte, die nur durch geringe Bewertung werden können.	Stufen- oder Ausschluß - alle Knoten bis auf diejenigen der aktuellen Stufe - alle Knoten bis auf diejenigen des nächsten Zweiges	Kein expliziter Ausschluß (vollständige Enumeration)
5.2. Objektanzahl (Anzahl der gleichzeitig betrachteten Knoten)	Ein Knoten	Fest vorgegebene Knotenanzahl - in allen Stufen konstant - sinkt mit der Lösungstage der Lösungsstufe	Variable Knotenanzahl - von Operator abhängig - von organisatorischen Gebilden (Speicherplatz) abhängig	Zufällig bestimmte Knotenanzahl	Knotenanzahl - alle nicht ausgeschlossenen Knoten werden parallel betrachtet.	

Abb. 64: Morphologischer Kasten der Objekt - Ausschlußentscheidung

6.3.4.2.5 Die Objekt - Bewertungsentscheidung

Je kompromißloser ein heuristisches Verfahren die Ausschlußentscheidung trifft, um so größere Sorgfalt ist bei der Bewertung der Knoten notwendig. Während bei den exakten Entscheidungsbauverfahren nur die Verfahrenseffizienz von der Bewertung und der darauf basierenden Ausschlußentscheidung abhängt, spielen die Bewertungsverfahren innerhalb von Heuristiken eine entscheidende Rolle für die Lösungsgüte. Es sind drei grundsätzliche Formen der Knotenbewertung zu unterscheiden: ¹⁾

- (1) Bei der Ist-Analyse wird der erreichte Lösungszustand analysiert, ohne daß die mit Hilfe der abgebildeten Operatoren erreichbaren Zustände in die Bewertung mit ein-gehen.
- (2) Bei der vorausschauenden exakten Analyse werden mit Hilfe der Operatoren Folgezustände bis zu einer gewissen Tiefe erzeugt und deren Merkmale werden in die Bewertung mit einbezogen.
- (3) Bei der vorausschauenden abschätzenden Analyse werden mit Hilfe vereinfachter Operatoren zulässige, aber in der Regel schlechtere Lösungen ermittelt (pessimistische oder primale Abschätzung) oder aber es wird ein vereinfachtes, durch Vernachlässigung gewisser Objektmerkmale entstandenes Problem gelöst (optimistische oder duale Abschätzung). ²⁾ Die mit Hilfe dieser "Abschätzungsvorschriften" errechneten Lösungen werden zur Bewertung der Lösungszustände herangezogen.

1) Vgl. Meissner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 48 ff
 2) Vgl. Müller-Werbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 78 f

Merkmale	Merkmaleausprägungen				
6. Objekt - Bewertungsentscheidung	1	2	3	4	5
6.1. Abschätzungsfunktion	Ist-Analyse mit Hilfe von Parametern (Vgl. 3)	Duale oder primale Abschätzung	Primale oder pessimistische Abschätzung	Begrenzt vor-ausgewählte Bewertung mit Beschränkung der Zahl der Planelemente	Keine Verwendung einer Abschätzungs-funktion
6.2. Anzahl der Abschätzungs-funktionen	eine Abschätzungs-funktion	mehrere Abschätzungs-funktionen	Variable Anzahl der Abschätzungs-funktionen in Abhängigkeit von	der Trennschärfe der Objekt-bewertungen	stufenweise
6.3. Bewertungs-hierarchie	gleiche Abschätzungs-funktionen	Abgestufte Reihenfolge des Verfahrens	Abschätzung mit stufenweiser durchgeführter Abschätzung		

Abb. 65: Morphologischer Kasten der Objekt - Bewertungsentscheidung

Neben der Entscheidung über den Aufbau der Bewertungsvorschriften ist die Anzahl der zu verwendenden Verfahren und gegebenenfalls deren Rangfolge (Bewertungshierarchie) festzulegen.¹⁾

Beim Entwurf der Bewertungsverfahren können die beiden speziellen Konstruktionskonzepte sinnvoll eingesetzt werden. So sind einfache Prioritätsregelverfahren auf der Basis finanzwirtschaftlicher Vorteilmaßstäbe in der Regel in der Lage, eine primale Abschätzung der Objektgüte mit ausreichender Trennschärfe zu liefern. Das Konzept des endogenen Zinsfußes vernachlässigt die Ganzzahligkeitsbedingungen. Bei bekannten endogenen Kalkulationszinsätzen läßt sich daraus eine sehr leistungsfähige duale Abschätzungsfunktion ableiten. Ist hingegen nur der mögliche Wertebereich für diese Bewertungsfaktoren bekannt, so läßt sich durch "pessimistische" Berechnung der Kapitalwerte, also durch Ansatz des Sollzinses bei Investitionen, eine primale Grenze für die Güte des zu bewertenden Zustandes berechnen.

6.3.4.2.6 Die Objekt - Reihenfolgeentscheidung

Im Rahmen der Reihenfolgeentscheidung ist festzulegen, welcher nicht ausgeschlossene Knoten als nächster untersucht werden soll. Nach diesem Kriterium der Verfahrensorganisation werden die Entscheidungsbaumverfahren in drei Gruppen eingeteilt: "... tree-search methods can be divided into the three commonly known groups (i) dynamic programming which is characterized by a parallel organization of the enumeration tree; (ii) bounded enumeration ... with a sequential organization of the enumeration process; and (iii) branch and bound which, in general, continues from the 'champion' node of the tree."²⁾ Im Rahmen von heuristischen Lösungsverfahren, die

1) Vgl. Miller-Werbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 78 f

2) Miller-Werbach, H.; Modelling Techniques and Heuristics for Combinatorial Problems, a.a.O., S. 17

Merkmale	Merkmalsausprägungen				
	1	2	3	4	5
<p>7. Objekt - Reihenfolge</p> <p>7.1. Bearbeitungsfolge der Objekte</p>	<p>Parallele Organisation (alle Lösungsuntermengen einer Stufe werden gleichzeitig aufgespalten)</p>	<p>Sequentielle Organisation (Ein Zweig wird jeweils bis zum Ende bzw. Abbruch weiter verfolgt)</p>	<p>Sequentiell-parallele Organisation (Alle Knoten werden zunächst bis zu einer gewissen Stufe parallel untersucht, dann wird für ausgewählte Knoten eine tiefenorientierte Untersuchung durchgeführt)</p>	<p>Bewertungsorganisation (die Auswahl des zu betrachteten Objekts richtet sich nach der Objektbewertung)</p>	<p>Operatorenbewertungsorganisation (der Knoten, der von dem bestwertetesteten Operator erzeugt wurde, wird weiterverfolgt)</p>

Abb.66 : Morphologischer Kasten der Objekt - Reihenfolgeentscheidung

zur gleichen Zeit mehrere Knoten betrachten, legt diese Entscheidung den Lösungsweg fest und hat damit unter Umständen großen Einfluß auf die Lösungsgüte.

Bei algorithmischen Entscheidungsbaumverfahren spielen bei der Wahl der Organisationsform technische Gesichtspunkte wie etwa die Anzahl der gleichzeitig abzuspichernden Knoten oder die notwendigen Aufrufe des Hintergrundspeichers eine große Rolle. Aufgrund der geringen Zahl der von einer Heuristik betrachteten Zustände sind diese Kriterien hier weniger wichtig. Aus Gründen der Lösungsqualität empfiehlt sich eine Bewertungorganisation, ¹⁾ bei der die besten Knoten oder die vom besten Operator erzeugten Zustände zuerst betrachtet werden.

6.3.4.3 Morphologie von Verbesserungsverfahren ²⁾

"Die mit einem oder mehreren Eröffnungsverfahren gefundenen Lösungen kann man mit Iterationsverfahren zu verbessern versuchen." ³⁾ Grundlage der iterativen Verfahren ist das Konzept der Lösungsverbesserung. Bei der Konstruktion der Verbesserungsverfahren sind demnach Entscheidungen bezüglich der "Definition der Nachbarschaft" und Entscheidungen bezüglich der "Verfahrensorganisation" zu treffen. ⁴⁾

Während die Organisationsentscheidungen weitgehend problemunabhängig zu treffen sind, hat der Festlegung der Nachbar-

- 1) Vgl. zu den einzelnen Organisationsformen Abb. 54
- 2) Im folgenden werden die Begriffe "Iterationsverfahren" (vgl. Miller-Merbach, H.; Operations Research, a.a.O., S. 298 ff) und "Verbesserungsverfahren" (vgl. Weismner, J.-D.; Bausteine zur heuristischen Programmierung, a.a.O., S. 119 ff) als Synonyme verwendet.
- 3) Miller-Merbach, H.; Kombinatorische Probleme II: Heuristische Verfahren, a.a.O., S. 237
- 4) Vgl. dazu Abschnitt 6.3.2.2: Insbesondere die Abbildung Vgl. auch Miller-Merbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 83

schaft eine eingehende Analyse des zu lösenden Problems und der Eigenschaften des vorgeschalteten Eröffnungsverfahrens voranzugehen. Nach der Art der Nachbarschaftsdefinition unterscheidet Müller-Merbach zwei Typen von Iterationsverfahren: ¹⁾

(1) Die Iterationsverfahren mit ungezielter Auswahl ²⁾ erzeugen alle, nach der Konstruktionsregel möglichen Änderungen der Bezugslösung, ohne jeweils zu überprüfen, ob die Nachbarschaftslösung eine Verbesserungschance bietet.

(2) "Ihnen stehen Iterationsverfahren mit gezielter Auswahl gegenüber. Hier werden solche Änderungen, die eine Aussicht auf eine Lösungsverbesserung bieten, durch einen 'Filter' zunächst von solchen Änderungen getrennt, die mit Sicherheit auf keine verbesserte Lösung führen." ³⁾

Sinnvolle Iterationsverfahren für Investitionsplanungsprobleme sind nach Erfahrungen des Verfassers nur schwer zu entwickeln. "Blinde Verbesserungsverfahren" sind zwar einfach zu entwickeln, doch kann die Anzahl der erzeugten Änderungen (etwa Tauschoperationen) eine solche Größe erreichen, daß diese Verfahren nicht mehr wirtschaftlich arbeiten. ⁴⁾ Heuristische "Filter", die die Anzahl der Verbesserungsschritte begrenzen, sind für komplexe Programmplanungsprobleme nur schwer zu entwickeln und sind zudem oft rechenaufwendig. ⁵⁾

- 1) Vgl. etwa Miller-Merbach, H.; Heuristische Verfahren, a.a.O., S. 348 ff - Vgl. auch die andere Einteilung bei Weismner, J.-D.; Eine Typisierung heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O.
- 2) Weismner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 93 ff, nennt dieses Vorgehen "Blinde Verbesserungssuche".
- 3) Miller-Merbach, H.; Kombinatorische Probleme II: Heuristische Verfahren, a.a.O., S. 237
- 4) Vgl. Abschnitt 7.5.1
- 5) Zur Verwendung von Filtern in Iterationsverfahren für Investitionsplanungsprobleme vgl. Petersen, C.C.; A Capital Budgeting Heuristic Algorithm using Exchange Operations, a.a.O., insbesondere S. 146 ff - Vgl. auch Abschnitt 7

Merkmale	1	2	3	4	5	6
8. Nachbarschaftsentscheidung						
8.1. NachbarschaftsgröÙe	Von einer Bezugslösung wird eine Nachbarschaftslösung generiert	Fast vorgegebene Anzahl von zu erzeugenden Nachbarschaftslösungen (kann variieren)	Anzahl der Nachbarschaftslösungen ist von "Filter" abhängig (gesteuerte Anzahl NachbarschaftsgröÙe)	Anzahl der Nachbarschaftslösungen ist von den Eigenschaften der Ausgangslösung abhängig (Objektbewertung bestimmt NachbarschaftsgröÙe)	Anzahl der Nachbarschaftslösungen ist von der Konstruktionsregel abhängig (Operatoren schaffen bestmögliche NachbarschaftsgröÙe)	Kollisionsfreie Erzeugung der Nachbarschaftslösungen
8.2. Nachbarschaftsproduktionsregel						
8.2.1. Erzeugungsregel	Austausch eines Elements gegen ein anderes (gleicher Typ)	Austausch eines Elements gegen mehrere andere	Austausch mehrerer Elemente gegen mehrere andere	Nutznahme von weiteren Elementen	Ausschlag von bereits vorhandenen Elementen	
8.2.2. Auswahlregel	Anhand der Nebenbedingungen - großer Rasen darf gegen kleinen Rasen sein	Anhand Zielkoeffizienten	Anhand mittlerer Projektbewertung (die Hilfe einzufügen (vgl. 3))	Kombination von Bewertung des Zielwertes und Restriktionenbewertung	Anhand einer Objektbewertung und Analyse	
8.3. Nachbarschaftsfilter	Bewertung des vorausgesetzten Funktionswertes der Nachbarschaftslösung durch eine plausiblen Kennziffer (vgl. 3)	Bewertung des vorausgesetzten Zielwertes mit Hilfe einer Abschätzungsfunktion	Bewertung der voraussichtlichen Zielwertes durch Überlegungen	Kombination mehrerer Filter (Zielwert + Zulässigkeitsprüfung + verschiedene Zielwertabschätzungen)	Kein Nachbarschaftsfilter (ungezielte oder "blinde" Versuche)	

Abb. 67 : Morphologischer Kasten der Nachbarschaftsentscheidung

6.3.4.3.1 Die Nachbarschaftsentscheidung

"Die Effizienz von Iterationsverfahren hängt im wesentlichen von der Definition der Nachbarschaft ab." ¹⁾ Im einzelnen sind folgende Entscheidungen zu treffen:

- (1) Wie viele "Nachbarschaftslösungen" sollen erzeugt werden (NachbarschaftsgröÙe)?
- (2) Nach welchen Regeln sollen diese aus der Bezugslösung abgeleitet werden (Nachbarschaftskonstruktionsregel)?
- (3) Welche "Filter" sollen nach der Konstruktionsregel mögliche Lösungen von der expliziten Berechnung ausschließen (Nachbarschaftsfilter)?

Der morphologische Kasten der Abbildung 67 gibt einen Überblick über mögliche Merkmalsausprägungen bei den einzelnen Entwurfsentscheidungen.

6.3.4.3.2 Die Organisationsentscheidung

Bei der Festlegung der Verfahrensorganisation sind folgende Fragen zu klären:

- (1) Auf wie viele Bezugslösungen sollen die Iterationsverfahren angewendet werden (Anzahl der Bezugslösungen)?
- (2) Wie viele Iterationsverfahren sollen sich um eine Verbesserung bemühen und in welcher Reihenfolge sollen diese angewendet werden (Anzahl und Reihenfolge der Iterationsverfahren)?
- (3) Wann soll eine verbesserte Lösung die Bezugslösung ersetzen (Realisation der Lösungsverbesserung)?

¹⁾ Müller-Weibach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 83

- (4) Wann soll der Verbesserungsprozess abgebrochen werden (Abbruchentscheidung)?

Mögliche Antworten auf diese Fragen sind "weitgehend generell und unabhängig vom Problemtyp" ¹⁾ zu formulieren (vgl. dazu Abbildung 55). Nach Erfahrungen des Verfassers führt in vielen Fällen die Anwendung mehrerer, einfacher Iterationsverfahren zu besseren Lösungen als die Verwendung von Verbesserungsverfahren mit komplexen Auswahlfiltern.

Ein in der Regel sehr effektiver Weg zur Verbesserung einer Lösung besteht in einer interaktiven Mensch-Heuristik-Kommunikation, bei der der Mensch die Lösungsmodifikationen auswählt und das Programm die resultierende Lösung berechnet. ²⁾ Eine "manuelle Nachbesserung" des Heuristikergebnisses sollte auch dann versucht werden, wenn im Lösungsprozess kein Iterationsverfahren verwendet wird, da hierdurch oft erhebliche Lösungsverbesserungen erreicht werden können.

- 6.3.5 Evaluation heuristischer Lösungsverfahren
6.3.5.1 Problemstellung

Spezifische Merkmale von heuristischen Programmen sind nach überwiegender Auffassung der Literatur: ¹⁾

- (1) die fehlende Lösungsgarantie ²⁾
(2) die Reduktion des durchschnittlichen Lösungsaufwandes ³⁾

Die Empfehlung an einen Entscheidungsträger, zur Lösung seiner spezifischen Probleme heuristische Programme zu verwenden, muß demzufolge verbunden werden mit Aussagen über die Lösungsgüte und den Problemlösungsaufwand der Heuristik; jeweils in Relation zu alternativen Lösungsverfahren. Die bloße Angabe von Konstruktionsmerkmalen einer Heuristik ist nicht ausreichend. "Sich eine (n+1)-te Heuristik zu überlegen, ist das kleinere Problem; die Mühen beginnen erst beim Nachweis ihrer Vorzüge." ⁴⁾

Eine allgemein anerkannte Methodik des Gütebests von Heuristiken existiert nicht; wohl aber eine weit verbreitete Praxis. Danach wird "aus dem Anwendungsbereich für das in Frage kommende Programm eine Stichprobe von Entscheidungsaufgaben" ⁵⁾ gezogen und diese Probleme dann zum einen durch die beste bekannteste Lösungsmethode, ⁶⁾ zum anderen durch

- 1) Vgl. für viele Feigenbaum, E.A./Feldman, J.; Computers and Thought, a.a.O., S. 6 - Anderer Meinung sind Imboden, C./Leibundgut, A./Siegenhaler, P.; Klassifikation heuristischer Prinzipien, a.a.O., S. 306 f
- 2) Vgl. etwa Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 151
- 3) Vgl. etwa Newell, A./Shaw, H.C./Simon, H.A.; The Process of Creative Thinking, in: Gruber, H.E./Tetrel, G./Wertheimer, M. (eds); Contemporary Approach to Creative Thinking, New York 1962, S. 63-119, hier S. 78 - zitiert nach Klein, H.K.; Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 36
- 4) Demschke, W.; Die Planung von Versorgungssystemen - Anmerkungen zu drei Aufsätzen, in: ZfB 48. Jg. (1978), S. 484-489, hier S. 486
- 5) Klein, H.K.; Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 40
- 6) Zur Wahl der Vergleichsmethode vgl. Abschnitt 6.3.5.2
- 1) Müller-Merbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 84
- 2) Vgl. dazu Zehnder, C.A./Escher, G.; Zur Anwendung von Rechenautomaten, in: Weinberg, F./Zehnder, C.A.; Heuristische Planungsmethoden, a.a.O., S. 85-92, hier S. 86 ff

die zu testende Heuristik gelöst. Anschließend wird die Lösungsgüte und der Planungsaufwand beider Methoden miteinander verglichen. "Aussagen über die Güte verschiedener heuristischer Verfahren kann man gewinnen, in dem man die Verfahren auf eine Reihe von Testproblemen anwendet und entsprechende Ergebnisse miteinander vergleicht." ¹⁾

Mit Hilfe dieser experimentellen Methode ist es sowohl möglich, die mathematisch-technologischen Eigenschaften der alternativen heuristischen Lösungsverfahren (etwa die Abweichung von der Lösung eines Optimierungsverfahrens, die Anzahl der notwendigen Lösungsschritte usw.) zu ermitteln wie auch wirtschaftliche Aufwand-Ertrag-Relationen bei Verwendung der jeweiligen Heuristik zu betrachten.

Erst in den letzten Jahren ist durch Forschungen auf dem Gebiet der kombinatorischen Probleme im Rahmen der Mathematik eine zweite Methode zur Evaluation heuristischer Lösungsverfahren entstanden. Diese analytische Methode versucht, durch mathematische Überlegungen eine a priori Abschätzung für die schlechtest-mögliche (worst-case-analysis) oder die durchschnittlich zu erwartende (probabilistic approach) Lösungsqualität beziehungsweise für den maximalen oder den zu erwartenden Ressourcenbedarf ²⁾ abzuleiten. ³⁾

Dieser Ansatz hat den großen Vorteil, daß er zur Ableitung von Qualitätss Aussagen keine aufwendigen Experimente benötigt.

- 1) Brucker, P.: Anmerkungen zu heuristischen Verfahren, in: Proceedings in Operations Research 6, Witzburg-Wien 1976, S. 669-674, hier S. 670
- 2) Zu den möglichen Qualitätsdimensionen vgl. Abschnitt 6.3
- 3) Vgl. für viele Karp, R.M.: The Probabilistic Analysis of some Combinatorial Search Algorithms, in: Traub, J. (ed.): Algorithms and Complexity: Recent Results and New Directions, New York 1976, S. 1-19 - Sahni, S.: General Techniques for Combinatorial Approximation, in: OR Vol. 25 (1977), S. 920-936 - Brucker, P.: NP-Complete Operations Research Problems and Approximation Algorithm, in: ZOR Bd. 23 (1979), S. 73 - 94 und Korte, B.: Approximative Algorithms for Discrete Optimization Problems, Report No. 7762-OR des Instituts für Ökonometrie und Operations Research der Universität Bonn 1979 sowie die dort angegebene Literatur.

Zudem sind die Ergebnisse analytischer Evaluationsüberlegungen unabhängig von der Art und dem Aufbau der verwendeten Testprobleme und somit für alle Probleme des gleichen Typs generalisierbar. Allerdings sind analytische Qualitätss Aussagen zur Zeit nur für spezielle Heuristiken zur Lösung bestimmter kombinatorischer Probleme ableitbar. ¹⁾

Bisher ist eine analytische Evaluation nur bei Verfahren möglich, die speziell für eine a priori Abschätzung der Lösungsabweichung beziehungsweise der Lösungsschritte konzipiert sind. Diese Verfahren werden als "Näherungsverfahren" (approximate algorithms) bezeichnet, da angegeben werden kann, in welchem Maße die maximale beziehungsweise durchschnittliche Abweichung von der Optimallösung in Abhängigkeit von den Lösungsschritten sinkt.

Angewendet wurde die analytische Evaluationsmethode bisher nur auf kombinatorische Formalprobleme wie etwa das "Knapsack-Problem" ²⁾, das "travelling salesman problem" ³⁾ und einige weitere Reihenfolgeprobleme. Für betriebswirtschaftliche Anwendungsprobleme etwa der Investitions- oder Standortplanung fehlen bisher entsprechende Ansätze.

- 1) Vgl. zusätzlich Garey, M.R./Johnson, D.S.: Approximation Algorithms for Combinatorial Problems: An Annotated Bibliography, in: Traub, J.: Algorithms and Complexity, a.a.O., S. 41-52
- 2) Vgl. Sahni, S.: Approximate Algorithms for the 0/1 Knapsack Problem, in: JACM Vol. 22 (1975), S. 115-124 - Ibarra, O.H./Kim, C.E.: Fast Approximation Algorithms for the Knapsack and Sum of Subset Problems, in: JACM Vol. 22 (1975), S. 463-468 - Vgl. auch den Literaturüberblick bei Korte, B.: Approximate Algorithms for Discrete Optimization Problems, a.a.O. und bei Brucker, P.: NP-complete Operations Research Problems and Approximation Algorithms, a.a.O.
- 3) Vgl. Christofides, N.: Worst-case analysis of a new heuristic for the travelling salesman problem, GSIA Carnegie-Mellon University 1976 sowie Cornuejols, G./Mehrauser, G.L.: Tight Bounds for Christofides Travelling Salesman Heuristic, in: MP Vol. 14 (1978), S. 116-121

Ein schwerwiegender Nachteil speziell der "worst case analysis" ist es, daß sie dem Begriff entsprechend nur die maximale, nicht aber die zu erwartende Abweichung zwischen optimalem und heuristisch erzielttem Zielfunktionswert beziehungsweise die maximal erforderliche, nicht aber die durchschnittliche Anzahl von Lösungsschritten ermittelt. Da ein Verfahren mit einem sehr schlechtem "worst case" im Schnitt sehr gute Ergebnisse erzielen kann, ¹⁾ sind die Aussagen dieses Ansatzes für eine Auswahl unter alternativen Verfahren nur wenig geeignet.

Zwar vermeidet der "probabilistic approach" diesen Nachteil, indem nicht der schlechtest mögliche, sondern der zu erwartende Fall analysiert wird, doch ist diese Methode bisher nur auf sehr einfache Problemstellungen und Näherungsverfahren anwendbar. "... unfortunately, the introduction of complex heuristics introduces probabilistic dependencies that are extremely difficult to analyze." ²⁾

Da somit eine analytische Evaluation für die hier betrachteten heuristischen Lösungsverfahren für Investitionsplanungsprobleme weder ausreichend informativ sein würde noch beim gegenwärtigen Stand der Forschung möglich ist, wird in der Folge allein die Evaluation auf der Grundlage von Experimenten betrachtet. Ein solcher Verfahrensvergleich beschränkt sich zudem nicht nur auf die Analyse der mathematisch erforderlichen Lösungsschritte zur Erreichung einer bestimmten Abweichung von der Optimallösung, sondern bietet die Möglichkeit, auch die ökonomischen Auswirkungen der al-

1) Vgl. etwa die Untersuchungen von Rosenkrantz, D.J./Stearns, R.E./Lewis, P.M.: An Analysis of Several Heuristics for the Travelling Salesman Problem, in: SIAM Journal of Computing Vol. 6 (1977), S. 563-581

2) Karp, R.M.: The Probabilistic Analysis of some Combinatorial Search Algorithms, a.a.O., S. 4

ternativen Lösungsmethoden zu erfassen. ¹⁾ Hierzu gehören vor allem die fixen und die variablen Kosten zur Schaffung der erforderlichen technischen, personellen und organisatorischen Voraussetzungen. ²⁾ Es wäre im Rahmen einer ökonomischen Verfahrensevaluation sinnvoll, diese Kosten den wertmäßigen Leistungen des Verfahrens gegenüberzustellen. "Die Kosten als wertmäßiger Input einer Entscheidungsmethode können nur im Verhältnis zu einem wertmäßigen Output sinnvoll beurteilt werden. Die wertmäßige Erfassung der Outputgrößen einer Methode bietet jedoch noch wesentlich größere Schwierigkeiten als die der Inputgrößen." ³⁾ Wegen dieser methodischen Schwierigkeiten ⁴⁾ wird auch beim ökonomischen Konzept der Vergleich auf der Basis des wertmäßigen Verfahrensergebnisses ⁵⁾ ersetzt durch eine Beurteilung mit Hilfe eines Kriterienkatalogs.

1) Zu den unterschiedlichen Ansätzen einer Methodenevaluation aus ökonomischer Sicht vgl. Kirsch, W./Bamberger, T./Gabelle, E./Klein, H.K.; Betriebswirtschaftliche Logistik, a.a.O., S. 448 ff und Pfohl, H.-Ch.; problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 273 ff

2) Beide Komponenten faßt Pfohl unter dem Begriff "Entscheidungsstechnik" zusammen. Vgl. ebendort, S. 47 und derselbe; Praktische Relevanz von Entscheidungsstechniken, a.a.O., S. 74

3) Derselbe; problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 276

4) Vgl. dazu die weiteren Ausführungen in diesem Abschnitt

5) Verstanden sei darunter die Differenz zwischen den (wertmäßig erfaßten) Leistungen und Kosten des Verfahrens. Vgl. dazu Wöhe, G.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 10. Auflage München 1974, S. 494 ff

6.3.5.2 Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Lösungsverfahren ¹⁾

Die Betriebswirtschaftslehre hat eine grobe Anzahl von Methoden zur Lösung betrieblicher Entscheidungsprobleme entwickelt, jedoch kaum Instrumente zur Beurteilung und Auswahl alternativer Verfahren konzipiert. ²⁾ "Die angewandte Forschung beginnt erst allmählich, sich den methodologischen Problemen der Beurteilung und Bewertung von Methoden zu stellen." ³⁾

Diese Aussage gilt auch für die Evaluation heuristischer Lösungsmethoden. ⁴⁾ Methodisch stellen sich nach Meinung des Verfassers folgende Fragen:

- (1) Qualitätsdimensionen: In welchen, aus der übergeordneten Zielsetzung abgeleiteten Beurteilungskriterien läßt sich die "Güte" einer Heuristik erfassen und wie lassen sich diese Kriterien messen?
- (2) Aufbau der Testprobleme: Wie sind die "typischen Aufgabenstellungen" ⁵⁾ zu wählen, anhand derer die Verfahren verglichen werden sollen?
- 1) Die im Abschnitt 6.3.5.2 angestellten Überlegungen basieren in starkem Maße auf Gedanken von Herrn Prof. Dr. L. Kruschwitz und dem Verfasser, die in dem Diskussionspapier der Technischen Universität Berlin Fischer, J./Kruschwitz, L.: Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O. veröffentlicht sind. Gedanken aus dieser Quelle werden im folgenden nicht besonders gekennzeichnet.
- 2) Vgl. Kirsch, W./Bamberger, I./Gabele, E./Klein, H.K.: Betriebswirtschaftliche Logistik, a.a.O., S. 449 ff
- 3) Eberdort, S. 449
- 4) Vgl. Pfohl, H.C./Hebel, R.: Bewertung heuristischer Methoden, a.a.O. und Fischer, J./Kruschwitz, L.: Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O.
- 5) Streim, H.: Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 1

- (3) Referenzverfahren: Mit welchen Methoden sind die zu beurteilenden Heuristiken zu vergleichen?

- (4) Zusammenfassende Effizienzbeurteilung: Wie ist der Verfahrensvergleich auszuwerten, so daß sich ein einziger Effizienzwert für jedes Verfahren ergibt?

- (5) Aussagefähigkeit: Welche Schlüsse lassen sich aus dem Verhalten einer Heuristik bei einer Stichprobe typischer Aufgabenstellungen auf ihr Verhalten bei der Grundgesamtheit der zu lösenden Entscheidungsprobleme ziehen?

6.3.5.2.1 Qualitätsdimensionen

"Zur Beurteilung der Effizienz von Problemlösungsmethoden wird in der Literatur in erster Linie das Kriterium der heuristischen Kraft empfohlen." ¹⁾ Dieses Maß wird ermittelt, indem auf eine Stichprobe von Entscheidungsaufgaben alternative Verfahren angewendet werden und gemessen wird, wieviel Prozent der Aufgaben in einer vorgegebenen Zeitspanne gelöst wurden. ²⁾ Dieses Maß hat eine Reihe von Mängeln, die sich unter anderem daraus ergeben, daß dichotomisch nur zwischen Lösung und Nicht-Lösung unterschieden wird und keine unterschiedlichen Abstufungen der Lösungsqualität berücksichtigt werden und daß als einzig relevanter Faktorverbrauch die Rechenzeit betrachtet wird. ³⁾

Einen umfassenderen Kriterienkatalog, der neben technischen auch ökonomische Bewertungsmerkmale umfaßt, bietet Newell ⁴⁾ an. Danach soll eine Problemlösungsmethode beurteilt werden nach

- 1) Kuhn, R.: Entscheidungsmethodik und Unternehmenspolitik, a.a.O., S. 210
- 2) Vgl. im einzelnen Klein, H.K.: Heuristische Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 39 ff und Kirsch, W.: Entscheidungsprozesse II, a.a.O., S. 156 ff
- 3) Vgl. im einzelnen Fischer, J./Kruschwitz, L.: Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O., S. 2 ff
- 4) Vgl. Newell, A.: Heuristic Programming: Ill-structured problems, a.a.O., S. 371 ff

(1) dem Grad ihrer Allgemeinheit (generality).

Der Grad der Allgemeinheit soll die Menge der Probleme kennzeichnen, zu deren Lösung eine Methode geeignet ist.¹⁾

Für den Anwender ist der Allgemeingrad nur dann von Belang, wenn er beabsichtigt, auch andere Problemstellungen mit der gleichen Methode zu lösen oder aber die betrachtete Aufgabe in formalen oder materiellen Bestandteilen variiert. Die Heuristikevaluation sollte diese voraussetzlichen Anforderungen berücksichtigen und anhand unterschiedlicher Experimente die Anpassungsfähigkeit und Modifizierbarkeit (durch Verfahrensänderungen) der alternativen Heuristiken überprüfen.²⁾

(2) dem Grad ihrer Mächtigkeit (power), der in drei Gesichtspunkte unterteilt wird:

(2.1) den Grad der Lösungsqualität (quality of solutions)

"Heuristische Verfahren .. suchen nach einer Lösung X , die alle ursprünglich geforderten Eigenschaften P_j aufweist, sie finden ... häufig aber nur Ergebnisse mit den Eigenschaften P_i (befriedigende Lösungen)."³⁾ Die relevanten Eigenschaften der Lösung eines Entscheidungsmodells sind vor allem der erreichte Zielfunktionswert, aber auch die Werte der Variablen und die daraus abzuleitenden Handlungsempfehlungen sowie die Ausnutzung der Restriktionen. Die Heranziehung von weiteren Eigenschaften außerhalb der eigentlichen Zielfunktion ist insbesondere dann wichtig, wenn die Heuristik nicht alle In-formationen des zugrundeliegenden Entscheidungsmodells auswertet oder dieses selbst nicht alle Zielvorstellungen des Entscheidungsträgers explizit abbildet.

1) Vgl. Kirsch, W./Bamberger, I./Cabele, E./Klein, H.K.: Betriebswirtschaftliche Logistik, a.a.O., S. 455

2) Vgl. zu den Begriffen Melner, J.D.: Bausteine zur heuristischen Programmierung, a.a.O., S. 63 ff

3) Streim, Hannes; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 15

(2.2) den Grad ihrer Lösungswahrscheinlichkeit (probability of solution)

"Eine zweite Dimension der Lösungsmächtigkeit ist in der Lösungswahrscheinlichkeit zu sehen, d.h. in der Wahrscheinlichkeit, eine Lösung bestimmter Qualität zu finden."¹⁾ Gemäß seinem Anspruchsniveau stellt der Anwender gewisse Mindestanforderungen an die Lösungsqualität der alternativen Verfahren, also etwa an die maximale Abweichung vom optimalen Zielfunktionswert oder an die inhaltlichen Lösungseigenschaften. In der ursprünglichen Definition von Newell steht ein anderer Aspekt im Vordergrund.²⁾ Es wird gefragt, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Heuristik eine vorgegebene Anzahl von Aufgaben bei variierendem Ressourcenvorrat löst. Für eine solche Interpretation gelten die gleichen Vorbehalte wie gegen die "heuristische Kraft".

(2.3) dem Grad ihres Ressourcenbedarfs (amount of resources)

Der Ressourcenbedarf bei Verwendung eines bestimmten heuristischen Lösungsverfahrens läßt sich einteilen in den Aufwand zur Entwicklung und Implementierung des Verfahrens, zur Schaffung der erforderlichen technischen, personellen und organisatorischen Voraussetzungen, den Aufwand zur Ermittlung der erforderlichen Daten und zur Lösung der Problemstellung.¹⁾ Dieser Aufwand umfaßt neben einer technischen und ökonomischen Komponente auch eine schwer quantifizierbare sozial-organisatorische Komponente. Neben den Anwendungen für die organisatorische Implementierung des Verfahrens ist dabei zu denken an

1) Kirsch, W./Bamberger, I./Cabele, E./Klein, H.K.: Betriebswirtschaftliche Logistik, a.a.O., S. 456

2) Newell, A.: Heuristische Programmierung: III-structured problems, a.a.O., S. 372 definiert in enger Anlehnung an die dichotomische Einteilung der heuristischen Kraft: "First the method may or may not solve every problem in the domain; and we may loosely summarize this by talking of the probability of solution."

notwendige Aufwendungen zur Überwindung psychologischer und sozialer Widerstände. 1) Allgemeine Aussagen über diese sozial-organisatorischen Aufwendungen lassen sich kaum machen, da ihre Höhe sehr stark von den spezifischen Gegebenheiten der betrachteten Unternehmung abhängt.

Bei der Heuristikevaluation stehen daher die technischen Größen (wie Angaben über die erforderliche Rechenanlage, die Größe des Computerprogramms, notwendige Rechenzeiten und Speicherkapazitäten) 2) und gegebenenfalls deren ökonomische Bewertung im Vordergrund. Eine ökonomische Erfassung von Investitions- und Betriebskosten für die alternativen Lösungsverfahren auf der Basis technischer Größen ist auch dann sinnvoll, wenn es nicht gelingt, den Output der Lösungsmethoden ebenfalls ökonomisch zu bewerten, da dadurch die unterschiedlichen technischen Maßgrößen vergleichbar gemacht werden können und die Entscheidungssträger die Kosten fortschrittlicher Entscheidungstechniken dann realistisch einschätzen können.

Diese vier Qualitätsdimensionen bestehen jeweils aus einer Reihe von einzelnen Eigenschaften. Bei der Zerlegung der Qualitätsdimensionen in Teileigenschaften ist darauf zu achten, daß sich diese in operationalen, möglichst kardinalen Maßgrößen erfassen lassen. Die folgenden Tabellen stellen exemplarisch mögliche Maßgrößen für die vier Qualitätsdimen-

1) Vgl. zu den sozialen Einflußfaktoren Pfohl, H.-Ch.; Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, a.a.O.

2) Vgl. Crowder, H.P./Dembo, R.S./Malvey, J.M.; Reporting Computational Experiments, in: MP Vol. 15 (1978), S. 311-329, hier S. 319 und Ignizio, J.P.; On the Establishment of Standards for Comparing Algorithms Performance, in: INTERFACES Vol. 2 (1971), S. 8-11 sowie Skyperski, N./Mihard, U.; Zur Bewertung von Planungstechniken im Rahmen einer betriebswirtschaftlichen Unternehmensplanung, a.a.O.

Tab. 9 : Mögliche Maßgrößen für den Allgemeinheitegrad

Kriterium/ Aspekt	Maßgröße	Definition
1. Allgemeinheitegrad		
1.1 Formaler Allgemeinheitegrad		
1.1.1 Variablenzahl	n	Maximale Zahl der von einer Lösungsmethode zu verarbeiteten Variablen
1.1.2 Variablenstruktur	$n_1/u \cdot 100$	Maximaler prozentualer Anteil an Variablenart i (Binär, Ganzzahlige, Kontinuierliche) an der Gesamtzahl der Variablenanzahl
1.1.3 Zahl der Restriktionen	m	Maximale Zahl von Restriktionen, die eine Lösungsmethode verarbeiten kann
1.1.4 Restriktionsstruktur	$m_1/m \cdot 100$	Maximaler prozentualer Anteil an Restriktionsart j (=, <, >, <=, >=) an der Gesamtzahl der Nebenbedingungen
1.1.5 Zahl der zu maximierenden Zielfunktionen	1	Maximale Anzahl der von der Methode gleichzeitig zu maximierenden (bzw. zu minimierenden) Zielfunktionen
1.1.6 Gestalt der Restriktionen	verbale Skala	Ist die Lösungsmethode eine variierende mathematische Gestalt (linear, quadratisch, nicht-linear) der Restriktionen zu?
1.1.7 Gestalt der Zielfunktionen	verbale Skala	Ist die Lösungsmethode eine variierende Gestalt der Zielfunktion zu?
1.2 Materielle Allgemeinheitegrad		
1.2.1 Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Gegebenheiten der Investitionsplanung bzw. andere Planungsaufgaben	verbale Skala	Kann die Lösungsmethode auch andere potentielle Probleme im Investitionsbereich lösen?
1.2.2 Modifizierbarkeit an sich verändernde Gegebenheiten der Investitionsplanung oder an andere Planungsaufgaben	Zeitbedarf/ Kosten	Welcher Programmieraufwand etc. ist notwendig, das Verfahren an andere Problemlösungen anzupassen?

Tab. 10: Mögliche Maßgrößen für die Lösungsqualität

Lösungsqualität			
Dimension	Erläuterung	Skala	Maßgröße
Verteilung der Zielfunktionswerte	Welche Verteilung erzeugt die Heuristik in bezug auf eine bestimmte Stichprobe von k Testproblemen?	Kardinal	Häufigkeitsverteilungen der absoluten Zielfunktionswerte
Mittlerer Zielfunktionswert (absolut)	Welcher Zielfunktionswert wird im Durchschnitt erreicht?	Kardinal	Arithmetisches Mittel der absoluten Zielfunktionswerte
Mittlere Abweichung des Zielfunktionswertes der Heuristik gegenüber dem eines Referenzverfahrens	Wie groß ist die mittlere relative Abweichung der Zielfunktionswerte gegenüber denen eines Referenzverfahrens?	Kardinal	Arithmetisches Mittel der relativen Zielfunktionswertabweichungen
Dispersion der Zielfunktionswerte (absolut)	Wie groß ist die Streuung der Zielfunktionswerte?	Kardinal	Varianz der absoluten Zielfunktionswerte
Dispersion der Zielfunktionswerte (relativ)	Wie groß ist die Streuung der Zielfunktionswertabweichungen?	Kardinal	Varianz der relativen Zielfunktionswertabweichungen
Grad der UBER-einstimmung der Entscheidungsparameter	Wie stark weichen die in der Heuristiklösung aktivierten Entscheidungsvariablen von denen eines Referenzverfahrens ab?	Kardinal	Z. B. relative Deckungsgrade
Ausgeglichenheit der Auslastung der Restriktionen	Wie gleichmäßig werden die Restriktionen einer Art (z. B. Finanzmittel, Produktionskapazitäten) durch die ermittelte Lösung ausgelastet?	Kardinal	Z. B. Summe über die quadrierten Abweichungen von der durchschnittlichen Auslastung
Schnelligkeit der Lösung	In welcher Zeit steht eine neue Lösung zur Verfügung?	Kardinal	Zeitbedarf von Anforderung bis Antwort
Konfort der Lösungsmethode	Welche Hilfen zur Dateneingabe, Interpretation der Ergebnisse etc. bietet die Methode?	Verchale Skala	Präferenzen der Entscheidungsträger

Tab. 11: Mögliche Maßgrößen für die Lösungswahrscheinlichkeit

Lösungswahrscheinlichkeit			
Dimension	Erläuterung	Skala	Maßgröße
Wahrscheinlichkeit, mit der absolute Zielfunktionswerte eines bestimmten Niveaus gefunden werden	-	Kardinal	Verhältnis der Anzahl akzeptabler Lösungen zum Umfang der Stichprobe
Wahrscheinlichkeit, mit der relative Zielfunktionswertabweichungen eines bestimmten Niveaus gefunden werden	-	Kardinal	entsprechend
Wahrscheinlichkeit, daß die von der Heuristik ermittelte Lösung in $x\%$ mit der Optimallösung übereinstimmt	-	Kardinal	Wahrscheinlichkeitsverteilung der relativen Deckungsgrade
Zeitliche Lösungswahrscheinlichkeit (nur bei Entscheidungen unter Zeitdruck)	Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Heuristik in t Zeiteinheiten eine Lösung innerhalb des Anspruchsni-veaus findet?	Kardinal	Verhältnis der in t Zeiteinheiten gefundenen akzeptablen Lösungen zur Gesamtzahl der vorgegebenen Probleme

Tab. 12 : Mögliche Maßgrößen für den Ressourcenbedarf

Ressourcenbedarf	Erklärung	Skala	Maßgröße
Dimension			
Hardware-Konfiguration und Betriebssystem	Welche Eigenschaften (Kernspeicherplatz, Betriebssystem, periphere Geräteausstattung) muß die Rechenanlage besitzen?	Nominal, ordinal	- Verbale Beschreibungen
Informations-system und Organisation	Welchen Anforderungen muß das Berichtssystem der Unternehmung entsprechen? Welche Fähigkeiten müssen die Mitarbeiter besitzen? usw.	Nominal, ordinal	- Verbale Beschreibungen - Beschaffungskosten bzw. Kosten der organisatorischen Anpassung
Technische Implementation	Was kostet die Schulung der Anwender der Methode?	Kardinal	- Zeit - Lohn- und Gehaltskosten - "Intelligence content" nach Halstead
Programmierzeit	Was kostet die Programmierung der Heuristik?	Kardinal	- Zeit - Lohn- und Gehaltskosten - Kaufpreis/Miete bei kommerziell verfügbaren Programmen
Speicherplatzbedarf	Wie groß ist der erforderliche Kernspeicherplatz?	Kardinal	- Bytes - Kosten/bit
Ausführungszeit	Was kostet die Ausführung einer implementierten Heuristik?	Kardinal	- CPU-Zeit (absolut oder relativ) - Zahl der Basisoperationen - Zahl der Iterationen - CPU-Zeit (absolut oder relativ)
Testzeit	Was kostet der Test der Programme?	Kardinal	- I/O-Zeit (absolut oder relativ)
Ehr- und Ausgabezeit	Was kostet die Eingabe und Ausgabe der Daten?	Kardinal	- Verbale Beschreibungen
Sozial-psychologische Implementations?	Welche sozial-psychologischen Schwierigkeiten und Widerstände sind bei der Einführung und Anwendung der Heuristik zu überwinden?	Nominal, ordinal, kardinal	- Zeit und "Kosten" (im weitesten Sinne) zur Überwindung der Widerstände

sionen zusammen. ¹⁾ Welche Maßgrößen im Einzelfall verwendet werden, hängt von den Prioritäten des Entscheidungsträgers und sachlichen Notwendigkeiten ab.

6.3.5.2.2 Aufbau der Testprobleme

Eine zentrale Rolle bei der experimentellen Evaluationsmethode spielt die Auswahl der Testprobleme. Nur anhand von Aufgaben, die möglichst weitgehend realen Problemstellungen entsprechen, kann die Güte einer Heuristik aussagekräftig überprüft werden. Die Realitätsnähe von Testproblemen drückt sich aus:

- (1) in formalen Faktoren, wie der Übereinstimmung der Variablenzahlen, der Anzahl der Nebenbedingungen und der Koeffizientenstruktur; ²⁾
- (2) in materiellen Faktoren, die die inhaltliche Übereinstimmung realer Probleme mit den Testproblemen kennzeichnen, also etwa die Renditen alternativer Investitionen beziehungsweise die Kreditkosten, das für Investitionen zweckbare Eigenkapital etc. ³⁾

1) Die Tabellen wurden in modifizierter Form entnommen aus Fischer, J./Kruschwitz, L.; Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O., S. 15 ff. Vgl. auch die Maßgrößen speziell für den Ressourcenbedarf bei Crowder, H.P./Dembo, R.S./Milvey, J.M.; Reporting Computational Experiments, a.a.O. und Szyperski, N./Winand, U.; Zur Bewertung von Planungstechniken im Rahmen einer betriebswirtschaftlichen Unternehmensplanung, a.a.O. sowie Pfohl, H.C./Hebel, R.; Bewertung heuristischer Methoden, a.a.O.

2) Vgl. dazu Ignizio, J.P./Wyskida, R.M./Willhelm, M.R.; A rationale for heuristic program selection and evaluation, in: Industrial Engineering Vol. 4 (1972), S. 16-20

3) Vgl. dazu Abschnitt 7.6 und im Zusammenhang mit einem verwandten Problemkreis Kruschwitz, L./Fischer, J.; Untersuchungen über Voraussetzungen, Wahrscheinlichkeit und Bedeutung von Konflikten zwischen den Zielsetzungen "Erwerb- und Ertragsmaximierung" in der Investitionsplanung, a.a.O., S. 42 ff

Da reale Aufgabenstellungen sich nur mit erheblichen Kosten erheben lassen und zudem oft der Geheimhaltung der Betriebe unterliegen, werden in der Literatur zwei Wege beschritten. Zum einen werden die zu vergleichenden Heuristiken anhand weniger ausgewählter, das heißt der Realität entnommener oder einzeln konstruierter Testprobleme überprüft, zum anderen wird ein Testdatengenerator entwickelt, der mit Hilfe der Monte Carlo Simulation zufällig Probleme der gewünschten Struktur erzeugt. Dieser zweite Weg hat den Vorteil, daß eine große Anzahl von Testproblemen verwendet werden können und dadurch statistisch abgesicherte Güteaussagen möglich sind, birgt aber die Gefahr in sich, daß die Realitätsnähe der Testprobleme angesichts ihrer Vielzahl nicht mehr überprüft werden kann.

Die folgende Tabelle stellt die Vor- und Nachteile beider Vorgehensweisen zusammen: 1)

Ausgewählte Probleme	Zufällig erzeugte Probleme
Hohe Konstruktionskosten, da jedes Problem einzeln entwickelt wird.	Programmierkosten für Testdatengenerator; die Konstruktion eines einzelnen Problems verursacht nur geringe Aufwendungen.
Problemanzahlabhängige Kosten bewirken geringe Stichprobengrößen; Aussagen des Heuristiktests sind von geringerer statistischer Qualität.	Große Stichproben und damit Aussagen hoher statistischer Qualität sind möglich.
Testprobleme liegen explizit vor und sind überprüfbar; erleichterte wissenschaftliche Kommunikation. Jederzeitige Reproduzierbarkeit des Tests.	Testprobleme liegen nicht vor, nur der abstrakte Testdatengenerator. Wissenschaftliche Kommunikation auf dieser Basis schwieriger. Test ist im einzelnen nicht reproduzierbar, wohl aber seine (statistischen) Aussagen.
Gefahr, daß von Größe und Gestalt wenig repräsentative Probleme gewählt werden.	Gefahr, daß die ungenügende Abbildung realer Aufgabenstellungen durch die Testprobleme in dem schwer durchschaubaren Datengenerator versteckt wird.

1) Vgl. Crowder, H.P./Dembo, R.S./Mulvey, J.M.; Reporting Computational Experiments, a.a.O., S. 319

Bei beiden Vorgehensweisen empfiehlt es sich, bestimmte Eigenschaften der Testprobleme planmäßig zu variieren, da nur so eine vollständige Betrachtung der Realität zumindestens annähernd möglich ist.

Je größer der Stichprobenumfang, also die Zahl der betrachteten Aufgabenstellungen ist, desto größer ist normalerweise die Chance, daß die Testprobleme ein weites Spektrum der in der Realität vorzufindenden Problemstellungen erfassen. Dies gilt selbstverständlich nur, wenn die Konstruktionsregeln für die Testprobleme auch entsprechend umfassend definiert wurden.

Wie groß die Anzahl der zu lösenden Testprobleme insgesamt sein muß, damit ein bestimmter Grad an Aussagefähigkeit der Verfahrensevaluation erreicht wird, läßt sich mit Hilfe der statistischen Stichprobentheorie klären. Liegen keine Informationen über die Verteilung der zugrundeliegenden Grundgesamtheit der zu messenden Eigenschaften der Verfahren (etwa Lösungsqualität und Ressourcenverbrauch) vor, so ist nur das allgemeinste Modell der Stichprobentheorie anwendbar. Dieses beruht auf dem "starken Gesetz der großen Zahl" und der "Tschebyscheffschen Ungleichung"¹⁾ und erlaubt ex post eine Abschätzung der Konfidenzintervalle für die unbekanntesten Parameter Mittelwert und Streuung der Grundgesamtheit aus den entsprechenden Parametern der Stichprobe.²⁾ Ex ante lassen sich demgegenüber über die Größe der erforderlichen Stichprobe kaum allgemeingültige Aussagen machen.³⁾ Da es

1) Vgl. Kreysszig, E.; Statistische Methoden und ihre Anwendungen, 3. Auflage Göttingen 1970, S. 171 ff

2) Vgl. für viele Wurl, H.J.: Die Anwendung der Simulationstechnik zur betriebswirtschaftlichen Beurteilung industrieller Projekte in Entwicklungsländern, Berlin 1971, S. 56 ff und Claus, G./Bömer, H.: Grundlagen der Statistik, Frankfurt-Zürich 1971, S. 153 ff

3) Vgl. Chatfield, Ch.: Statistics for technology, London 1976, S. 228

aus ökonomischen Gründen sinnvoll ist, nicht zu große Stichproben zu untersuchen, empfiehlt es sich, den Verfahrensvergleich dann abzubrechen, wenn die Konfidenzintervalle mit der vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit erfüllt sind.¹⁾

6.3.5.2.3 Wahl eines Referenzverfahrens

Die Eigenschaften eines heuristischen Lösungsverfahrens werden zweckmäßigerweise mit denen einer konkurrierenden Methode verglichen. Zwar ist es auch möglich, Probleme mit bekannter Lösung zu konstruieren und an diesen die Heuristik zu erproben,²⁾ doch kann mit dieser Vorgehensweise nur die Lösungsqualität des Verfahrens beurteilt werden.³⁾

Sinnvollerweise sind bei der Beurteilung einer Methode zwei Vergleichswerte heranzuziehen: Der beste erreichbare obere Grenzwert und der bisher realisierte Wert. Bezogen auf die Lösungsqualität handelt es sich dabei zum einen um die Optimallösung und zum anderen um die Lösungsweite, die das bisher vom Entscheidungsträger verwendete Verfahren erzielt.

Heuristische Verfahren werden in vielen Fällen für schlecht-lösbare Probleme konzipiert, also für Problemstellungen, die aus mathematischen oder wirtschaftlichen Gründen mit Optimierungsmethoden nicht lösbar sind.⁴⁾ Es sind daher bei der Ableitung eines oberen Grenzwerts zwei Fälle zu unterscheiden:

- 1) Vgl. zu einem ähnlichen Vorgehen Emmert, P.: Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschine-Kommunikationssystem, a.a.O., S. 66
- 2) Vgl. zu diesem Vorschlag Ignizio, J.P./Wyskida, R.M./Milhelm, M.R.: A rationale for heuristic selection and evaluation, a.a.O., S. 17 und Strein, H.: Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 160
- 3) Allerdings ist es möglich, daß für eine bekannte Lösung auch Aufgaben über die für den Lösungsprozeß benötigten Ressourcen vorliegt. Statt einem direkten Verfahrensvergleich ist dann ein indirekter Vergleich zweier Methoden möglich.
- 4) Vgl. Meißner, J.D.: Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 8 ff

(1) Es existiert ein Optimierungsverfahren, dessen praktischer Einsatz zwar unter Umständen wirtschaftlich nicht vertretbar ist, das für Testzwecke jedoch heran-gezogen werden kann.

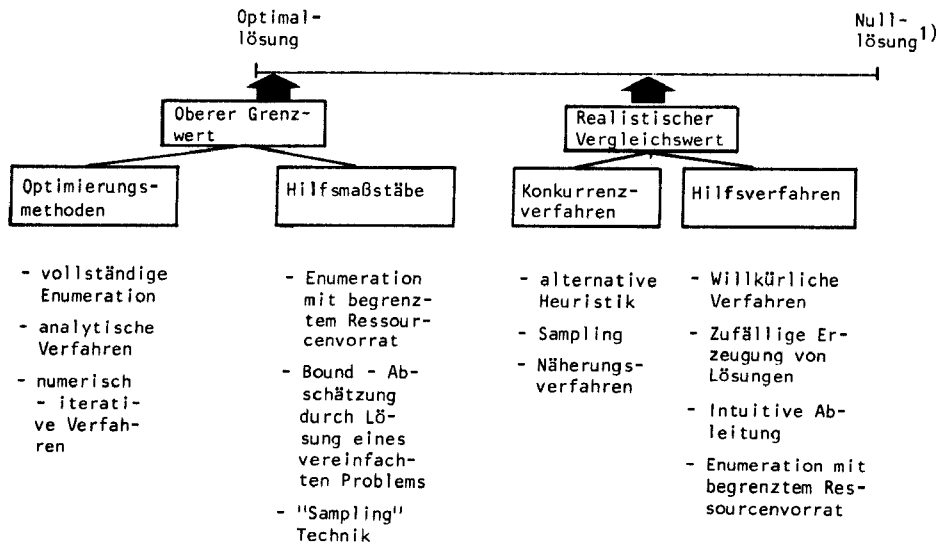
(2) Ein Optimierungsverfahren existiert nicht.

Im zweiten Fall bestehen zum Beispiel folgende Möglichkeiten, das optimale Niveau der Zielfunktionswerte abzuschätzen:

- Es kann versucht werden, das Problem durch Enumeration mit einem begrenzten Ressourcenvorrat zu lösen und die dabei erreichte Lösung zusätzlich eines "Sicherheitszuschlages" als oberen Grenzwert zu definieren.
- Alternativ besteht die Möglichkeit, eine Abschätzung des oberen Bounds aufgrund der Lösung eines relaxierten Problems vorzunehmen.¹⁾
- Der dritte Ansatz versucht, aufgrund der zufälligen Erzeugung einer kleinen Anzahl von Lösungen den oberen Grenzwert der Verteilung der Zielfunktionswerte bei alternativen Problemlösungen statistisch abzuschätzen.

Aus der Sicht des Entscheidungsträgers bietet sich als Referenzverfahren die bisher praktizierte Entscheidungstechnik an, da hier die Entscheidungsalternative lautet: Beibehaltung des bisherigen Verfahrens oder Einführung der neuen Heuristik. Zwar wird die Ermittlung der praktisch ein-

- 1) Das Vorgehen ähnelt dem von Branch-and-Bound-Verfahren. Vgl. für viele Werte, P./Suhl, U.: Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme, a.a.O., und Weinberg, F. (Hrsg.): Branch and Bound, a.a.O.
- 2) Das Verfahren entspricht weitgehend der Sampling-Technique (vgl. Abschnitt 2.3) - Vgl. im einzelnen Dannenbary, D.G.: Procedures for estimating optimal solution values for large combinatorial problems, in: MS Vol. 23 (1977), S. 1273-1283 und Mc Roberts, K.L.: A Search Model for Evaluating Combinatorial Explosive Problems, in: OR Vol. 19 (1971), S. 1331-1349



1) Zielfunktionswert, der sich ergibt, wenn der Entscheidungsträger keine Aktionen unternimmt.

Abb.68 : Mögliche Vorgehensweisen zur Ableitung eines oberen und eines realistischen Vergleichswertes für den Zielfunktionswert bei der Heuristikevaluation

Setzen Verfahren nur im Einzelfall möglich sein, in vielen Fällen ist es aber möglich, die praktische Vorgehensweise durch einfache Heuristiken zu approximieren. Um die Güte der zu überprüfenden Heuristiken nicht zu überschätzen, sollten zur Ableitung des realistischen Vergleichswertes möglichst "intelligente" Hilfsverfahren herangezogen werden. Abbildung 68 gibt einen Überblick über die Möglichkeiten zur Bestimmung eines oberen und eines realistischen Vergleichswertes.

6.3.5.2.4 Zusammenfassende Beurteilung der Effizienz der heuristischen Lösungsverfahren

Die Auswertung des Heuristiktests hat folgende Aufgaben zu erfüllen:

(1) Zum einen sollen die in den unterschiedlichen Kriterien erfassten Ergebnisse des Verfahrensvergleichs zu einem einzigen "Verfahrensleistungswert" verdichtet werden und damit eine rationale Verfahrenswahl ermöglicht werden.

(2) Zum anderen soll die Auswertung Aussagen darüber machen, welche Schlüsse aus dem Verhalten eines Verfahrens bei der Stichprobe der Testprobleme auf seine Eigenschaften bei der Lösung realer Problemstellungen möglich sind.

Der zweite Gesichtspunkt ist eng mit der Aussagefähigkeit eines Heuristiktests verbunden und soll erst unter dem nächsten Gliederungspunkt behandelt werden.

Eine Beurteilung der Vorteilhaftigkeit alternativer Lösungsverfahren bedingt die Gegenüberstellung von Lösungsmächtigkeit und Ressourcennächtigkeit sowie gegebenenfalls des Allgemeinheitegrads. Eine solche Abwägung zwischen den unterschiedlichen Zielkriterien ist sowohl zur isolierten Beurteilung

lung einer Methode wie auch beim Vergleich zwischen den alternativen Lösungsmethoden notwendig. Sie setzt voraus, daß alle Kriterien in vergleichbaren Größen gemessen werden. ¹⁾ Die Betriebswirtschaftslehre löst dieses klassische ökonomische Problem auf zwei Weisen: Zum einen versucht sie, alle Einflußgrößen monetär zu bewerten, um dann etwa die Instrumente der Investitionsrechnung anzuwenden. Dabei unterstellt sie, daß alle Kriterien monetär bewertbar sind und zudem der finanzielle Nutzen die einzige Zielsetzung des Entscheidungsträgers ist.

Die andere Vorgehensweise verzichtet auf eine monetäre Bewertung zumindestens bei einigen Zielkriterien, sondern verwendet stattdessen dimensionslose nominale, ordinal oder kardinale Bewertungsskalen. Sie ermittelt nur, daß "verschiedene Alternativen einen ordinal oder kardinal meßbaren bestimmten Beitrag (höheren, niedrigeren oder gleichen Beitrag wie andere Alternativen) zu den einzelnen Bewertungskriterien leisten." ²⁾ Als Ergebnis der Aggregation der Kriterienwerte ergibt sich dann ebenfalls ein dimensionsloser "Nutzwert", der die Zielwirkung der Alternativen ausdrückt. Eine solche Vorgehensweise verfolgen etwa die in Abschnitt 5.2.4 beschriebenen Scoring-Modelle oder Verfahren der Nutzwertanalyse.

Der Nachteil des Alternativenvergleichs anhand eines dimensionslosen, für den Entscheidungssträger abstrakten Nutzwertes ist dann in Kauf zu nehmen, wenn eine monetäre Bewertung einer Anzahl von Zielkriterien mit vertretbarem Aufwand nicht möglich ist oder das Ergebnis durch das Erforder-

1) Vgl. Schindl, V.: Risikoanalyse - Darstellung und Bewertung von Risikorechnungen am Beispiel von Investitionsentscheidungen, München 1977, S. 238 f

2) Topfer, A.: Planungs- und Kontrollsysteme industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 201

nis einer geldmäßigen Bewertung verzerrt werden würde. ¹⁾

Die monetäre Bewertung des Outputs von Lösungsmethoden, also der Lösungsmächtigkeit, ist gleichzusetzen der Bewertung so der Informationsbewertung wird in der Betriebswirtschaft netäre Informationsbewertung wird in der Betriebswirtschaft zwar ausführlich diskutiert, ²⁾ allerdings bisher ohne praktikables Ergebnis. Vereinfacht ausgedrückt, berechnen all diese Ansätze den Wert einer Information und damit hier den Wert des Outputs einer Lösungsmethode durch einen Vergleich des Erfolges einer Entscheidung mit oder ohne diese Informationen. ³⁾ Die Übertragung dieses Grundgedankens auf die Bewertung des Outputs einer Lösungsmethode scheitert aus folgenden Gründen:

1. Das von einer Lösungsmethode ermittelte Ergebnis eines Entscheidungsmodells ist nicht gleichbedeutend mit dem Erfolg der daraus resultierenden Entscheidung. Die Differenz der Zielwerte der Lösungen zweier Methoden entspricht also nicht dem monetären Mehr- oder Mindernutzen dieser Lösungsverfahren. Dies gilt um so stärker je mehr die reale Entscheidungssituation "neuristisch vereinfacht" im Entscheidungsmodell abgebildet wird.

1) So lassen sich bestimmte ethische, politische oder gesellschaftliche Kriterien zweifellos nicht in Geld ausdrücken.

2) Vgl. etwa Marschak, J.: Towards an economic theory of organization and information, in: Thrall, R.M./Combs, C.H./Davis, R.L. (eds): Decision processes, New York-London 1954, S. 187-220 - derselbe: Problems in Information Economics, in: Borah, Ch.P. (ed.): Management Control-New Directions in Basic Research, New York 1964, S. 187-220. Vgl. auch zur Niederl., M.: Zur Anwendbarkeit von Informationswertrechnungen, in: ZfB 42. Jg. (1972), S. 493-512 - Reichmann, H.: Zum Wert und Preis von Informationen, in: ZfB 43. Jg. (1973), S. 375-390 - Bamberg, G./Coenenberg, A.G./Kleine-Doepke, R.: Zur entscheidungsorientierten Bewertung von Informationen, in: ZfB 28. Jg. (1976), S. 30-42

3) Vgl. dazu Kirisch, W./Bamberger, I./Gabele, E./Klein, H.K.: Betriebswirtschaftliche Logistik, a.a.O., S. 462 ff - Vgl. auch Schindl, V.: Risikoanalyse, a.a.O., S. 170 ff

2. Der Nutzen der Lösung eines Entscheidungsmodells ergibt sich nur z.T. aus den Werten der Zielkriterien. Die inhaltlichen Eigenschaften der Lösungen entscheiden etwa über: ¹⁾ - deren technische Durchführbarkeit; - die soziale Akzeptanz der Entscheidungsempfehlungen; ²⁾ - das Vertrauen, das der Entscheidungsträger den Ergebnissen entgegenbringt.
- All diese Kriterien sind qualitativer Natur und nur schwer monetär zu erfassen.

3. Ein dritter Einwand gegen die monetäre Bewertung des Informationsinputs einer Lösungsmethode ergibt sich aus der Natur des Heuristiktests. Bei der Forderung nach einer monetären Bewertung der Lösungsmächtigkeit würde es nicht mehr ausreichen, von Größe und Struktur realitätsnahe Testprobleme zu verwenden. "Die Testprobleme müßten auch in den absoluten Höhen der Zielfunktions- und Restriktionskoeffizienten voll realen Problemen entsprechen. Eine allgemeine Aussagefähigkeit des Testes wäre dann nicht mehr zu gewährleisten!"³⁾

Aus diesen Gründen erscheint eine monetäre Bewertung der Lösungsmächtigkeit der alternativen Verfahren im Rahmen des Heuristiktests nicht sinnvoll. Stattdessen bieten sich Nutz-

- 1) Zu solchen qualitativen Kriterien der Bewertung von Lösungsmethoden vgl. etwa Kirsch, W./Bamberger, I./Gebelle, E./Klein, H.K.; Betriebswirtschaftliche Logistik, a.a.O., S. 462 f und Der Bundesminister für Bildung und Wissenschaft (Hrsg.); Methoden der Prioritätsbestimmung III - Methoden zur Prioritätsbestimmung innerhalb der Staatsaufgaben, vor allem im Forschungs- und Entwicklungsbereich, Schriftenreihe Forschungsplanung 5, Bonn 1971, S. 60 ff
- 2) Vgl. Pfohl, H.-Ch.; Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken, a.a.O.
- 3) Fischer, J./Kruschwitz, L.; Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Lösungsverfahren, a.a.O., S. 20

wert-Modelle an, die die verschiedenen Kriterien des Allgemeinheitsgrades, der Lösungsqualität und -wahrscheinlichkeit sowie der Ressourcennächtigkeit in technischen oder ökonomischen Maßgrößen erfassen, die Kriterien ihrer Bedeutung entsprechend gewichten und die Kriterienbewertungen der Alternativen zu einem dimensionslosen Nutzenwert aggregieren. ¹⁾ Es sei wiederum darauf hingewiesen, daß die Nutzwertanalyse keine geschlossene Entscheidungsrechnung darstellt, "sondern lediglich ein Rahmen für die systematische und nachvollziehbare Aufbereitung von Entscheidungsinformationen, der an verschiedenen Stellen durch Eingabe subjektiver Urteile ausgefüllt werden muß." ²⁾

- 6.3.5.2.5 Die statistische Auswertung und die Aussagefähigkeit eines Heuristiktests

"Die statistische Auswertung der Versuchsergebnisse soll in objektiver Weise zu entscheiden gestatten, ob die verschiedenen Verfahren eine unterschiedliche Wirkung ausüben." ³⁾ Die Auswertung der Verfahrensevaluation soll also feststellen, ob

- die Eigenschaften der einzelnen Verfahren sich statistisch signifikant voneinander unterscheiden;
- die an der Stichprobe der Testprobleme gezeigten Eigenschaften statistisch gesicherte Hypothesen über das Verhalten der Verfahren bei der zugehörigen Grundgesamtheit zulassen.

- 1) Vgl. dazu Abschnitt 5.2.4 und speziell Zangemeister, Ch.; Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, a.a.O. und Blöhm, H./Tikker, K.; Investition, a.a.O., S. 163 ff - dort auch die Erläuterung der Verfahrensschritte.
- Vgl. zur Auswahl von Entscheidungstechniken mit Hilfe von Nutzwertmodellen auch Schneer, A.-W.; Wirtschafts- und Betriebsinformatik, München 1978, S. 455 ff und die dort angegebene Literatur.
- 2) Blöhm, H./Tikker, K.; Investition, a.a.O., S. 176
- 3) Linde, A.; Planen und Auswerten von Versuchen, 3. Auflage Basel-Stuttgart 1969, S. 22

Verwendet werden dazu statistische Prüfverfahren. ¹⁾ Bei der Wahl des Prüfverfahrens ist von folgenden Besonderheiten des Heuristiktests ²⁾ auszugehen: ³⁾

- (1) Angaben über die Verteilungsform der Qualitätseigenschaften der von einer Heuristik bei einer Stichprobe von Problemen erzeugten Lösungen liegen in der Regel nicht vor.
- Bezüglich der Verteilung der Zielfunktionswerte kann begründet vermutet werden, daß es sich um eine schiefe nach oben und unten begrenzte Verteilung handelt, da für bestimmte kombinatorische Probleme nachgewiesen wurde, daß die Zielfunktionswerte einer Verteilung vom Weibull-Typ folgen. ⁴⁾

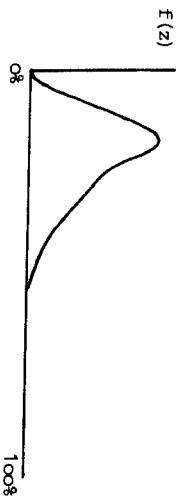


Abb. 69 : Schiefe Verteilung der prozentualen Zielfunktionsabweichung (schematisch)

- 1) Einen Überblick über diese Verfahren geben alle Lehrbücher der Statistik. Vgl. etwa Weber, E.; Grundriß der biologischen Statistik, Stuttgart 1972, S. 171 ff oder Claus, G./Ehner, H.; Grundlagen der Statistik für Psychologen, Pädagogen und Soziologen, a.a.O., S. 150ff
- 2) Betrachtet wird in der Folge der Heuristiktests mittels "randomly generated problems" - Vgl. Abschnitt 6.3.5.2.2.
- 3) Eine tabellarische Zusammenstellung von Prüfverfahren und ihrer Voraussetzungen findet man bei Claus, G./Ehner, H.; Grundlagen der Statistik für Psychologen, Pädagogen und Soziologen, a.a.O., S. 312 ff
- 4) Die Vermutung, daß die Zielfunktionswerte eines kombinatorischen Problems einer Verteilung vom Weibull-Typ folgen, kann auf das abgeleitete Maß der prozentualen Zielfunktionsabweichung nur begrenzt übertragen werden. Vgl. dazu Mc Roberts, K.I.; A Search Model for Evaluating Combinatorially Explosive Problems, a.a.O. - Dannenbring, D.G.; Procedures for Estimating Optimal Solution Values for Large Combinatorial Problems, a.a.O. - derselbe; The Evaluation of Heuristic Solution Procedure for Large Combinatorial Problems, Diss. Columbia University 1973. - Vgl. zur Weibull-Verteilung etwa Leaver, R.H./Thomas, T.R.; Versuchsauswertung - Darstellung und Auswertung experimenteller Ergebnisse in Naturwissenschaft und Technik, Braunschweig 1977, S. 107 ff und Graftefeld, Ch.; Statistics for technology, a.a.O., S. 327 ff

(3) Der Heuristiktest ist dadurch gekennzeichnet, daß eine vorgegebene Stichprobe von Aufgabenstellungen durch die alternativen Verfahren gelöst wird. Die statistische Fragestellung lautet also, die Wirkungen alternativer Methoden auf eine Stichprobe zu vergleichen. ¹⁾ Man spricht in diesem Fall von "verbundenen oder korrelierenden Stichproben." ²⁾

Geeignet sind daher statistische Prüfverfahren für zwei oder mehr korrelierende Stichproben aus Grundgesamtheiten, deren Verteilungsform unbekannt ist. Zudem müssen diese Prüfverfahren auf nicht-symmetrische Verteilungen und große Stichprobenumfänge anwendbar sein. ³⁾

Für das so umrissene Anwendungsgebiet existieren beispielsweise folgende statistische Prüfverfahren: ⁴⁾

- der Zeichentest, der nur die Vorzeichen der Differenz zwischen zwei Beobachtungswerten auswertet und daher für statistisch signifikante Aussagen über die Güte der unterschiedlichen Behandlungen sehr grobe Stichprobenumfänge benötigt;

- der Wilcoxon-Test, der "die relative Größe und die Richtung der Differenzen berücksichtigt", ⁵⁾ jedoch nur für den

- 1) Vgl. dazu Weber, E.; Grundriß der biologischen Statistik, a.a.O., S. 528 ff und Claus, G./Ehner, H.; Grundlagen der Statistik, a.a.O., S. 217 ff
- 2) Vgl. ebendort
- 3) Damit scheiden etwa der Walsh-Test sowie der Fisher-pitman-Test aus. Vgl. dazu Iserent, G.A.; Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik, dargestellt an Beispielen aus der psychologischen, medizinischen und biologischen Forschung, Weisenheim a. Glan 1962, S. 143 ff
- 4) Vgl. Weber, E.; Grundriß der biologischen Statistik, a.a.O., S. 528 ff - Claus, G./Ehner, H.; Grundlagen der Statistik, a.a.O., S. 222 ff - Keyserling, E.; Statistische Methoden und ihre Anwendungen, a.a.O., S. 337 ff
- 5) Weber, E.; Grundriß der biologischen Statistik, a.a.O., S. 531

paarweisen Vergleich zweier Methoden geeignet ist, dort allerdings eine hohe statistische Wirksamkeit hat.

- der Friedman-Test, der im Unterschied zu den anderen Prüfverfahren mehrere (mindestens drei) Behandlungen gleichzeitig auf signifikant unterschiedliche Wirkung überprüft.

Insbesondere die letzten beiden Verfahren erlauben auch bei ökonomisch vertretbaren Stichprobengrößen statistisch gesicherte Aussagen über die Güte alternativer Verfahren.

Der Geltungsbereich dieser Aussagen ist allerdings beschränkt auf die durch die jeweilige Auslegung des Testdatengenerators gekennzeichnete Grundgesamtheit. Da es unmöglich ist, alle in der Realität vorzufindenden Kombinationen aus materiellen und formalen Faktoren der "Realitätsnähe" im Heuristiktest zu betrachten, versucht man, die an wenigen Testkombinationen erzielten Ergebnisse durch Regressions- und Faktorenanalysen zu verallgemeinern.¹⁾ Die ersten Versuche, auf diese Weise den Widerspruch zwischen der Forderung nach möglichst grober Allgemeingültigkeit einerseits und der Forderung nach einem ökonomisch vertretbaren Testaufwand andererseits zu lösen, sind ermutigend. Es bedarf allerdings noch erheblicher Forschungsanstrengungen, um insgesamt zu einer Methodologie der Verfahrensevaluation zu kommen, die beide Anforderungen erfüllt und für den Entscheidungssträger unmittelbar verwertbare Aussagen zur Verfahrenswahl liefert.

1) Zu einem solchen Vorgehen bei formalen Faktoren vgl. etwa Wyman, F.P.: Binary Programming: A decision rule for selecting optimal vs heuristic techniques, a.a.O. - Zur Erklärung von Abhängigkeiten zwischen Lösungsgüte und materiellen Faktoren vgl. Kruschwitz, L./Fischer, J.: Die Planung des Kapitalbudgets mit Hilfe von Kapitalnachfrage- und Kapitalangebotskurven, In ZbF 32. Jg. (1980), S. 393-418, hier S. 409 f

7. Die Entwicklung von heuristischen Lösungsverfahren am Beispiel der simultanen Investitions- und Finanzplanung

7.1. Problemstellung

Die im vorigen Abschnitt erläuterten theoretischen Grundlagen des Entwurfs heuristischer Lösungsverfahren sollen in der Folge zur Lösung einer Problemstellung der simultanen Investitions- und Finanzplanung bei sicheren Erwartungen verwendet werden. Ein entsprechendes Entscheidungsmodell wurde zur Illustration heuristischer Lösungstechniken gewählt, da es

- durch das Vorhandensein zweier, nicht gleichgerichteter Arten von Planelementen¹⁾ (Investitionen und Kredite) lösungstechnisch komplexer ist als das Problem der isolierten Investitionsprogrammplanung²⁾, für das zudem eine Reihe von Heuristiken existieren;³⁾

- durch eben diese Eigenschaft sowie durch die Notwendigkeit kontinuierlicher Variablen neben ganzzahligen Variablen⁴⁾ von den bisher bekannten formal-orientierten heuristischen Lösungsverfahren⁵⁾ nicht lösbar ist;⁶⁾

1) Zum Begriff vgl. Zahnder, C.A.: Das Prinzip der heuristischen Methoden, a.a.O., S. 16

2) Vgl. dazu Abschnitt 6.2.2.2.

3) Vgl. ebendort

4) Die Ausgeglichenheit des vollständigen Finanzplans ist nur dann zu sichern, wenn mindestens eine Investitions- oder Finanzierungsmöglichkeit in kleiner Stückelung durchgeführt werden kann. Im anderen Fall ist das Lösungsverfahren gezwungen, nach einer kombinatorisch passenden Lösung zu suchen und erreicht so nicht das zieloptimale Ergebnis bzw. kann keine (formal) zulässige Lösung errechnen. Zum vollständigen Finanzplan vgl. etwa Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 49 ff.

5) Vgl. Abschnitt 6.2.1.

6) Mit Ausnahme derjenigen Verfahren, die auf einer Simplex-Routine aufbauend auch gemischt-ganzzahlige Probleme lösen können. Vgl. Abschnitt 6.2.1.

- überschaubarer ist als eine Problemstellung der simultanen Investitions- und Produktionsplanung¹⁾, deren Lösung die Einbeziehung der produktionstechnischen Gegebenheiten und gegebenenfalls weitere spezielle heuristische Lösungskonzepte erfordert.²⁾

7.2. Entscheidungssituation

Das Problem der mehrperiodigen simultanen Investitions- und Finanzplanung besteht darin, eine endliche Zahl von Investitionsprojekten und Krediten so miteinander zu kombinieren, daß der finanzielle Nutzen der Unternehmung unter Wahrung der Liquidität gegebenenfalls bei Beachtung von Projektabhängigkeiten maximiert wird.

Unter der Voraussetzung sicherer Erwartungen wird dieses Problem in der Investitionstheorie seit Albach,³⁾ Weingartner⁴⁾ und Hax⁵⁾ formal allgemein als lineares, gemischt-

1) Vgl. dazu Abschnitt 2.2.3.

2) Ein denkbare heuristisches Lösungskonzept für Produktionsprogrammplanungsprobleme ist etwa die Verwendung von relativen Deckungsspannen zur Festlegung der Produktionsprioritäten. Zur Verwendung von relativen Deckungsspannen in der Produktionsprogrammplanung vgl. etwa Jacob, H.; Die Planung des Produktions- und Absatzprogramms, a.a.O., S. 156 ff. und Hilde, W.; Zielorientierte Produktions- und Programmplanung, Darmstadt 1978
Bei Berücksichtigung von mehreren Kapazitätsengpässen wären die relativen Deckungsspannen ähnlich wie Gradienten aufzubauen. Vgl. dazu Abschnitt 6.2.1.4.

3) Vgl. Albach, H.; Investition und Liquidität, a.a.O., S.

4) Vgl. Weingartner, H.M.; Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems, a.a.O., S. 160 ff.

5) Vgl. Hax, H.; Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O.

ganzzahliges Entscheidungsmodell formuliert. Ich verwende im folgenden eine Formulierung, die weitgehend der von Hax entspricht.

Das Entscheidungsmodell geht von folgenden Annahmen aus:¹⁾

(1) Der Investor hat die Wahl zwischen n Investitionsobjekten und m Finanzierungsmaßnahmen. Jedes Projekt kann maximal genau einmal ins Budget aufgenommen werden und ist unteilbar.

(2) Jedem Investitions- oder Finanzierungsobjekt läßt sich eine eindeutige, von der Realisation anderer Maßnahmen unabhängige Menge von Handlungskonsequenzen zurechnen. Insbesondere läßt sich für jedes Vorhaben eine eindeutige Zahlungsreihe $\{z_{0I}^I, z_1^I, \dots, z_T^I\}$ für die Investitionen und $\{z_{0F}^F, z_1^F, \dots, z_T^F\}$ für die Finanzierungen) angeben.

(3) Zielsetzung des Investors ist die Maximierung des Vermögens zum Ende des Planungshorizonts C_T bei vorgegebenen Entnahmen E_t in allen Perioden des Planungszeitraums.

(4) Der Investor wünscht, zu Beginn jedes Abrechnungszeitraums des Ergebniszeitraums liquide zu bleiben. Die Einnahmen aus Investitions- und Finanzierungsmaßnahmen müssen zu diesen Zeitpunkten somit die daraus resultierenden Ausgaben sowie den Zahlungssaldo aus vorgegebenen Entnahmen E_t und fixen, von der Entscheidung unabhängigen Zahlungen M_t decken.

1) Vgl. Kruschwitz, L.; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 142 ff. und S. 162 ff. - Vgl. zu den Prämissen des Modells auch Abschnitt 2.2.3.

(5) Nach Ablauf des Planungszeitraums T wird die Unternehmung liquidiert. Es gibt keine Investitionen und Kredite, die Zahlungen jenseits des Planungshorizonts verursachen.

(6) Der Investor operiert an einem unvollkommenen, unbeschränkten Kapitalmarkt¹⁾, an dem die Habenzinsen h_t stets kleiner sind als die Sollzinsen s_t .

Es ergibt sich auf der Grundlage dieser Annahmen folgendes Entscheidungsmodell:

(1) Zielfunktion

$$C_T = \sum_{i=1}^n z_{Ti}^I x_i + \sum_{j=1}^m z_{Tj}^F y_j + r_{T-1} q_T \rightarrow \max$$

Es bedeuten:

x_i = Entscheidungsvariable für Investitionen

y_j = Entscheidungsvariable für Finanzierungen

r_t = Entscheidungsvariable für Ergänzungsinvestitionen beziehungsweise -kredite auf dem unbeschränkten, unvollkommenen Kapitalmarkt

z_{ti}^I = Zahlung der i -ten Investition im Zeitpunkt t

z_{tj}^F = Zahlung der j -ten Finanzierung im Zeitpunkt t

q_t = Zinsfaktor für Ergänzungsinvestitionen (= h_t) beziehungsweise -kredite (= s_t)

1) Zum Begriff vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 340

(2) Liquiditätsbedingung

$$\sum_{i=1}^n z_{ti}^I x_i + \sum_{j=1}^m z_{tj}^F y_j + r_{t-1} q_t - r_t = E_t - M_t$$

Diese Liquiditätsbedingung ist für alle Perioden t des Planungszeitraums aufzustellen. In der ersten Abrechnungsperiode $t=0$ sind Ergänzungsinvestitionen beziehungsweise -kredite noch nicht vorhanden, so daß die Variable r_{t-1} den Wert Null annimmt. Die beiden zusätzlichen Symbole bedeuten:

E_t = Vom Investor vorgegebene Entnahme im Zeitpunkt t

M_t = Entscheidungsunabhängige Zahlungen im Zeitpunkt t (im Zeitpunkt $t=0$ Startkapital)

(3) Projektbedingungen

sichern, daß jedes Projekt nur ganzzahlig und maximal einmal realisiert werden darf.

$x_i \in \{0, 1\}$ für alle $i = 1, 2, \dots, n$

$y_j \in \{0, 1\}$ für alle $j = 1, 2, \dots, m$

(4) Kapitalbedingungen

steuern, daß im Falle von erforderlichen Ergänzungs-krediten Sollzinsen, im Falle von Ergänzungsinvestitionen Habenzinsen angesetzt werden:

$$q_t = \begin{cases} (1+h_t), & \text{falls } r_{t-1} > 0 \\ (1+s_t), & \text{falls } r_{t-1} \leq 0 \end{cases} \text{ für alle } t=1, 2, \dots, T$$

7.3. Stufen des Entwurfsprozesses

"Im Prinzip ist es einfach, heuristische Verfahren zu entwickeln, wenn man keine spezifizierten Qualitätsanforderungen an die Lösung stellt. Schwierig ist es dagegen oft, gute heuristische Verfahren zu entwickeln."¹⁾

Zur Entwicklung guter Heuristiken schlägt Müller-Merbach eine fünfstufige Entwurfsmethodik vor (vgl. Abbildung 7o)²⁾ Zunächst soll danach eine Liste derjenigen Merkmale eines Verfahrens aufgestellt werden, über die eine Entscheidung zu treffen ist. Diese Zusammenstellung der Merkmale und die anschließende Aufstellung möglichst aller Merkmalsausprägungen soll sich an der morphologischen Klassifikation der Entwurfsentscheidungen orientieren³⁾, bedarf im Einzelfall jedoch der Konkretisierung. Durch Auswahl je einer Ausprägung für jedes Merkmal soll dann das Verfahren zusammengestellt werden, wobei es "über die Vorgehensweise bei der Auswahl der einzelnen Ausprägungen ... keine allgemeine Anleitung" gibt.⁴⁾ In der vierten Stufe soll schließlich das entwickelte Verfahren durch Abschätzung seiner voraussichtlichen Eigenschaften deduktiv beurteilt werden. "Wenn man dabei zu einer schlechten Beurteilung kommt, kann man durch Rücksprung auf die Stufe 3 einzelne algorithmische Details ändern und erneut in die Beurteilung eintreten."⁵⁾ In der

- 1) Müller-Merbach, H.; Ansätze zu Entwurfsmethodologien der kombinatorischen Optimierung, a.a.O., S. 859
- 2) Vgl. ebendort, S. 859 ff.
- 3) Vgl. ebendort, S. 861 ff. und denselben: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., insbesondere S. 75 ff. - Vgl. auch Abschnitt 6.3.4.
- 4) Ebendort, S. 660
- 5) Ebendort

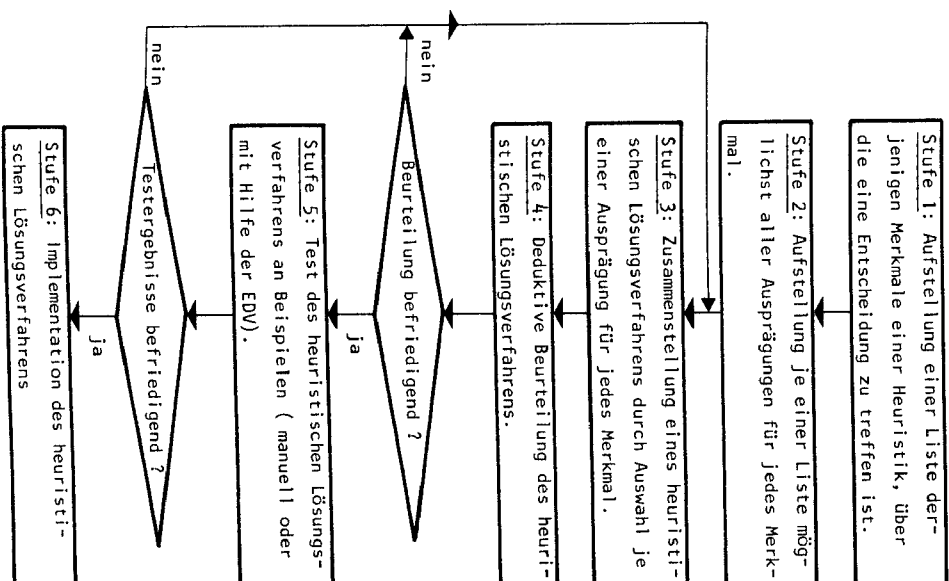


Abb. 7o: Ablauf des Heuristikentwurfs nach Müller-Merbach

letzten Stufe soll schließlich ein Test des heuristischen Lösungsverfahrens entweder manuell anhand kleinerer Beispiele¹⁾ oder mit Computerunterstützung mit umfangreichen Problemen erfolgen. Im Falle unzureichender Ergebnisse sind wiederum neue Detailentscheidungen in Stufe 3 zu treffen. Dieser "Ideal-Ablauf" des Entwurfsprozesses ist nach Erfahrungen des Verfassers bei der praktischen Entwicklung heuristischer Lösungsverfahren nur selten einzuhalten. Zum einen ist die morphologische Klassifikation der Merkmale und speziell der Merkmalsausprägungen sehr planungsaufwendig und setzt ein hohes Maß an problemspezifischem Wissen voraus. "Da jede Morphologie das betreffende sachliche Gebiet vollständig ordnend und gestaltend durchdringen will, kann sie nur von demjenigen erstellt werden, der über profunde Fachkenntnisse verfügt."²⁾ Da zur Auswahl der besten Alternative (in Stufe 3) zudem noch keine sicheren Regeln bekannt sind, wird die Morphologie der Stufen 1 und 2 oft durch eine stark intuitiv geprägte Aufstellung möglicher Alternativen und eine ebenfalls intuitive Zusammenstellung von heuristischen Lösungsverfahren ersetzt werden müssen. Zum anderen vernachlässigt das Stufenschema von Müller-Merbach die erhebliche Rolle, die die Programmierung und EDV-Implementierung der Heuristik beim Entwurfsprozeß spielt. Da heuristische Lösungsverfahren in aller Regel zur Lösung grober Probleme mit erheblichen Datenmengen konzipiert werden, sind spezielle Programmierungs- und Speichertechniken notwendig, um die angestrebte Reduktion des Problemlösungsaufwandes wirklich zu erreichen.³⁾

- 1) Vgl. dazu die kritischen Anmerkungen von Ignizio, J.P./Wyskida, R.M./Wilhelm, M.R.: A rationale for heuristic program selection and evaluation, a.a.O., S. 17 f.
- 2) Schlicksupp, H.: Kreative Ideenfindung in der Unternehmung, a.a.O., S. 72; vgl. dort auch die detaillierte Beschreibung von Anwendungsschwierigkeiten der morphologischsten Methode.
- 3) Vgl. dazu etwa Zehnder, C.A./Bacher, G.: Zur Anwendung von Rechenautomaten, a.a.O., und Suhl, U.: Implementationsstechniken für einen Branch-and-Bound-Algorithmus zur Lösung von (0-1)-Programmen, a.a.O.

Das Vorgehen des Verfassers bei der Entwicklung der im folgenden vorgestellten Heuristiken orientierte sich daher zwar im wesentlichen an den von Müller-Merbach vorgeschlagenen Ablauf, unterschied sich aber dennoch in einigen wichtigen Details.

In der ersten Phase wurde das Entscheidungsproblem eingehend analysiert. Dabei wurden die inhaltlichen und formalen Eigenschaften der Problemstellung bestimmt. In diesem Schritt wurden unter anderem auch die Planelemente und die Objektmerkmale festgelegt.¹⁾ Die Planelemente wurden dabei "konservativ" als Investitions- und Finanzierungsprojekte gewählt, die Objektmerkmale ebenso traditionell als deren Zahlensreihen und Wertaussprägungen. Unter Umständen empfiehlt es sich, in dieser frühen Konstruktionsphase alternative Möglichkeiten für Planelemente und Objektmerkmale zu untersuchen. Eine solche "offene" Problemvorbereitung erleichtert in der nächsten Phase die Suche nach analogen Problemstellungen und nach anwendbaren heuristischen Lösungsverfahren. So kann ein Investitions- und Finanzierungsprogrammplanungsproblem sowohl als Auswahl- wie auch als Zuordnungsproblem²⁾ interpretiert werden, wodurch sich jeweils unterschiedliche Lösungsverfahren eröffnen. Auch erfordert ein heuristisches Lösungsverfahren, das sich in seiner Struktur an Verfahren der Dynamischen Programmierung orientiert, eine andere Festlegung der Planelemente und Objektmerkmale als ein verkürztes Branch-and-Bound-Verfahren.³⁾

- 1) Vgl. dazu Abschnitt 6.3.4.2.
- 2) Zu den Begriffen vgl. etwa Müller-Merbach, H.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 71 f.
- 3) Vgl. zu dem unterschiedlichen Aufbau beider Verfahrenstypen Kall, P.: Zusammenhang zwischen Dynamischer Programmierung und Branch & Bound, in: Weinberg, F. (Hrsg.) Branch and Bound: Eine Einführung, 2. gedruckte Aufl., Berlin-Heidelberg-New York 1973, S. 75-89

In der zweiten Phase wurde dann versucht, in der Literatur geeignete heuristische Lösungsverfahren oder aber Algorithmen, aus denen sich Heuristiken ableiten lassen, zu finden. Gleichzeitig wurde überlegt, ob das Problem etwa durch Aufspaltung in einen Investitionsteil und einen Finanzierungsteil zu vereinfachen sei.

Die in der Literatur gefundenen und als geeignet erscheinenden formalen und materiellen Heuristiken wurden dann anhand ihres Aufbaus und kleinerer Beispielerrechnungen, die mit dem Taschenrechner durchgeführt wurden, bezüglich ihrer Eignung für die simultane Investitions- und Finanzierungsprogrammplanung beurteilt. ¹⁾ Es stellte sich heraus, daß diese Verfahren für das zu lösende Entscheidungsmodell ohne Veränderungen nicht geeignet waren. ²⁾ Die notwendigen Modifikationen wurden als so gewichtig eingeschätzt, daß sie vom Planungsaufwand einem Neuentwurf gleichgekommen wären.

Daher wurde in der Literatur nach Konzepten gesucht, die beim Entwurf heuristischer Lösungsverfahren für das zugrundeliegende Entscheidungsmodell Hilfestellungen bieten könnten. Wertvolle Anregungen gaben insbesondere die Ausführungen von Kruschwitz ³⁾ und Müller-Werbach. ⁴⁾ Die im Anschluß

1) Die beurteilten heuristischen Lösungsverfahren sind in Abschnitt 6. dargestellt.

2) Vgl. dort auch die Gründe für die Nichteignung der in der Literatur entwickelten Heuristiken.

3) Vgl. Kruschwitz, I.: Zur heuristischen Optimierung von Investitionsprogrammen auf der Basis finanzmathematischer Kriterien, a.a.O. - Heuristiken zur Lösung eines einfachen Problems der Investitionsprogrammplanung, a.a.O. - derselbe; zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O.

4) Vgl. Müller-Werbach, H.: Heuristische Verfahren, a.a.O. - ders.: Heuristic Methods: Structures, Applications, Computational Experiences - ders.: Combinatorics and Heuristics II: Heuristische Verfahren, a.a.O. - ders.: Modeling Heuristische Verfahren und Entscheidungsaunverfahren, a.a.O. - ders.: Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O. - ders.: Logical Techniques for OR-Approaches to Problems, a.a.O. - derselbe; Ansätze zu Biturformethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung, a.a.O.

durchgeführte morphologische Klassifikation, die sich in überarbeiteter Form im Abschnitt 6.3.4. wiederfindet, war für die Verfahrensentwicklung weniger nützlich als nach der Propagierung dieser Vorgehensweise von Müller-Werbach zu vermuten war. Dies ist sicher zum einen darauf zurückzuführen, daß der Verfasser mit der morphologischen Methode kaum vertraut war und zudem kein Experte im Algorithmenentwurf ist. ¹⁾ Ein wichtiger, weniger subjektiver Grund für den relativ geringen Nutzen der Morphologie war aber auch, daß diese Methode zum Denken in abstrakt-logischen Kategorien verleitet, während der Heuristikentwurf praktische Entwurfsentscheidungen und deren Umsetzung in programmierbare Anweisungen verlangt.

Im Anschluß an die Auswertung der Literatur bezüglich vorhandener Lösungsverfahren und anwendbarer Konstruktionskonzepte wurden fünf alternative Eröffnungsverfahren entwickelt. Diese Verfahren bauen alle auf dem speziellen Konzept der finanzwirtschaftlichen Vorteilsmastäbe, ²⁾ ergänzt um Überlegungen zur Abschätzung des endogenen Zinsfußes, auf. Die Wahl der speziellen Konzepte als Grundlagender entwickelten Verfahren erfolgte nach umfangreichen Versuchen mit Alternativkonzepten (unter anderem Verschiedene Gradientenkonzepte), die zum Teil an kleineren Beispielen mit dem Taschenrechner, zum Teil mit großen, zufällig generierten Problemen durchgeführt wurden. ³⁾ Dabei zeigte

1) Zu den Schwierigkeiten bei Anwendung der morphologischen Methode vgl. wiederum Schlicksupp, H.: Kreative Ideenfindung in der Unternehmung, a.a.O., S. 72 ff.

2) Vgl. Abschnitt 6.3.3.

3) Eine wichtige Erfahrung dabei war, daß die Durchrechnung von kleineren, aus der Literatur entnommenen Beispielen kaum sinnvolle Aussagen über die Güte einer Entwurfalternativen ermöglichte. Ein wichtiger Grund dafür ist, daß viele Literaturbeispiele sehr leicht lösbar sind, sich somit zwar für Demonstrations-, nicht aber für Festzwecke eignen.

sich, daß die speziellen Konzepte den untersuchten alternativen Vorgehensweisen überlegen waren.¹⁾

Die speziellen Konzepte wurden in unterschiedlichem Ausmaß durch Elemente der allgemeinen Konstruktionskonzepte ergänzt, wodurch heuristische Lösungsverfahren von verschiedenem Komplexitätsgrad entstanden.

Die fünf Verfahren wurden nur sehr grob in Flußdiagrammen und in verbaler Beschreibung des Ablaufes dokumentiert; die endgültige Dokumentation und damit oft auch die Festlegung von Verfahrensdetails erfolgte in vielen Fällen erst bei der Programmierung in einer maschinenunabhängigen Programmiersprache. Aus nachträglicher Sicht kann der Verfasser vor einem solchen Vorgehen nur warnen. Zwar erfordert eine exakte Dokumentation von heuristischen Verfahren etwa in Programmablaufplänen relativ viel Zeit, doch zwingt sie zu einem Durchdenken sämtlicher Verfahrensdetails und beschleunigt die Programmierung. Fehlt eine exakte Dokumentation, so wird der Programmierungs- und Implementierungsprozeß erheblich verlängert. Da für Heuristiken anders als bei alternativen Algorithmen ja keine Solllösung ermittelbar ist, wird zudem der logische Programmtest und der Verfahrenstest erschwert.

Programmtest und Verfahrenstest sowie die daraus abgeleiteten Verfahrensmodifikationen nehmen nach Erfahrungen des Verfassers die größte Zeit im Entwurfsprozeß ein.

1) Hinzu kommen die Vorteile, die die speziellen Konzepte hinsichtlich des Vermittlungsaufwandes und der sozial-psychologischen Widerstände haben.

In der Vorbereitung ist zu entscheiden, welche Form der Verfahrensevaluation gewählt werden soll.¹⁾ Bei der Entscheidung für ausgewählte Probleme sind entsprechende Problemstellungen in der Realität zu erheben, diese in EDV-gerechter Form abzubilden und zu implementieren. Die Verwendung zufällig erzeugter Probleme setzt in aller Regel die eigene Entwicklung, Programmierung und Implementierung eines Testdatengenerators voraus, da solche Programmsysteme zur Zeit nur für wenige Problemstellungen in der Literatur oder von Forschungsinstitutionen bereit gestellt werden.²⁾

Das Testdatenprogramm ist ebenso wie das Heuristikprogramm auf syntaktische und logische Programmfehler zu testen. Während für die erste Testart das Betriebssystem der meisten EDV-Anlagen umfangreiche Hilfen zur Verfügung stellt, muß der Heuristikkonstrukteur sich diese für den logischen Test selbst entwickeln.

Ob das Testdatenprogramm Probleme mit den gewünschten Eigenschaften generierte³⁾, wurde in umfangreichen Analysen und sehr zeitaufwendigen manuellen Nachrechnungen der Computerergebnisse überprüft. Wichtige Hilfen kann dabei ein interaktiver Mensch-Maschine Dialog bieten. Ein umfangreicher

1) Zu den Problemen der Verfahrensevaluation vgl. Abschnitt 6.3.4.; eine detaillierte Beschreibung der gewählten Vorgehensweise erfolgt in Abschnitt

2) Von solchen Standardtestdatengeneratoren für Netzplanprobleme berichten Dembo, R.S./Malvey, J.M.: On the Analysis and Comparison of Mathematical Programming Algorithms and Software, in: White, W.W. (ed.): Computers and Mathematical Programming, Galtersburg 1976, S. 106-116. Vgl. Klingman, D./Napier, A./Stutz, J.: NEMGEN: A Program for Generating Large-Scale Assignment, Transportation and Minimum Cost Flow Network Problems, in: MS Vol. 20 (1974), S. 814-820

3) Zu den Einzelheiten des Testdatengenerators vgl. Abschnitt 7.6.2.

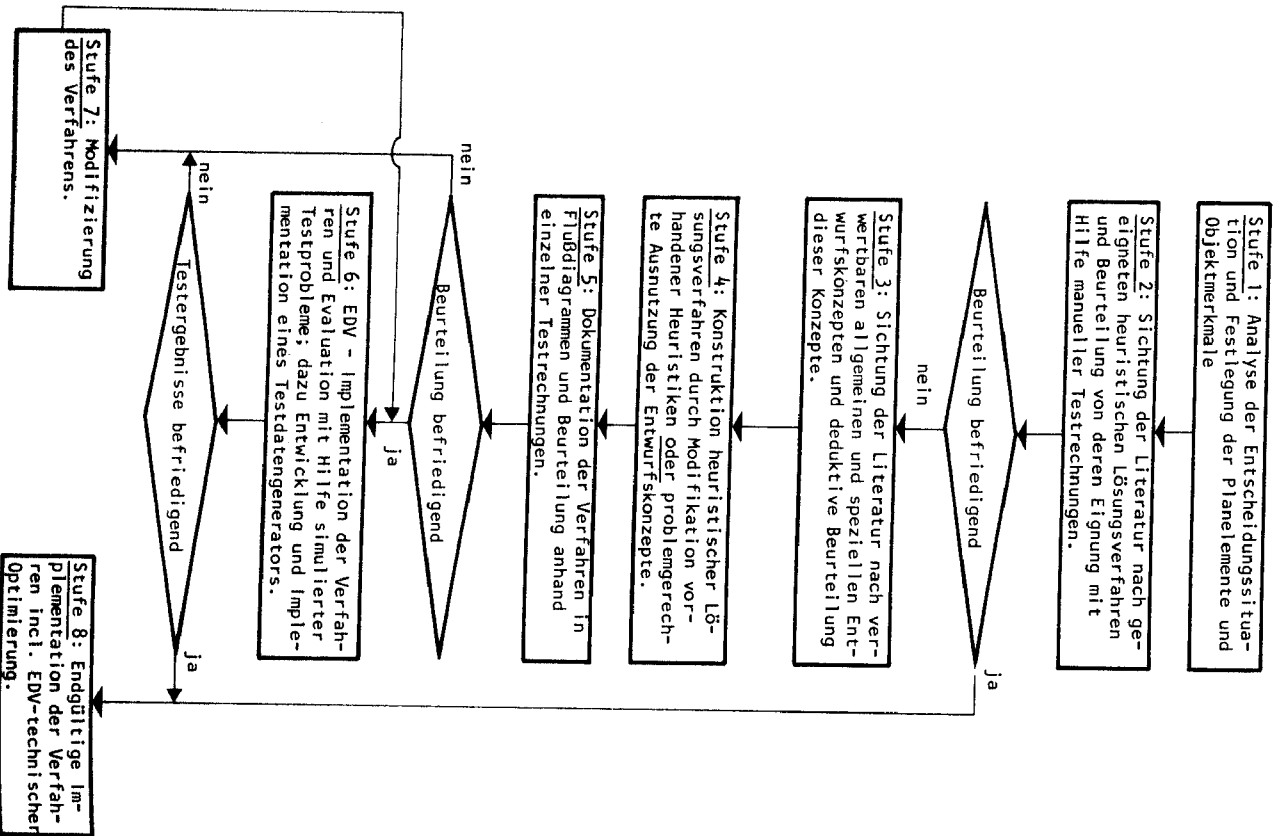


Abb.71 : Ablauf des Heuristikentwurfs

Logischer Test des Datengenerators erscheint notwendig, um sicherzustellen, daß die Erzeugungsvorschriften auch in Grenzsituationen, das heißt bei allen denkbaren Konstellationen der Zufallszahlen zulässige Testprobleme mit den gewünschten Eigenschaften generieren;

- die Realitätsnähe der Testprobleme, die sich in einer Vielzahl formaler und materieller Faktoren ausdrückt, ¹⁾ und damit letztlich die Aussagefähigkeit der Verfahrensevaluation zu sichern.

Der Testdatengenerator ist nicht nur in der abschließenden Phase der Verfahrensevaluation von Bedeutung, sondern spielt auch in der eigentlichen Konstruktionsphase eine große Rolle. ²⁾ Gewissermaßen stellt er die "Teststrecke" bereit, an der die einzelnen Entwurfsalternativen gemessen werden. Auch bei diesen Beurteilungsschritten und dem logischen Programmtest der einzelnen Heuristikalternativen ist eine interaktive Organisation nach Erfahrungen des Verfassers sehr hilfreich. Abbildung 72 erläutert den Ablauf dieses Konstruktionsstages. Zunächst wurde der Testdatengenerator mit unterschiedlichen Parameterkonstellationen aufgerufen und erzeugte relativ wenige Testprobleme mit unterschiedlichen Eigenschaften, die dann auf einer Testtafel abgespeichert wurden. Diese Probleme wurden anschließend mit

1) Vgl. Abschnitt 6.3.4.2. und 6.3.4.3.

2) Die Phaseneinteilung ist natürlich nicht mit einem strengen zeitlichen Ablauf gleichzusetzen, vielmehr handelt es sich um miteinander auch durch Rückkoppelungen verbundene Abschnitte.

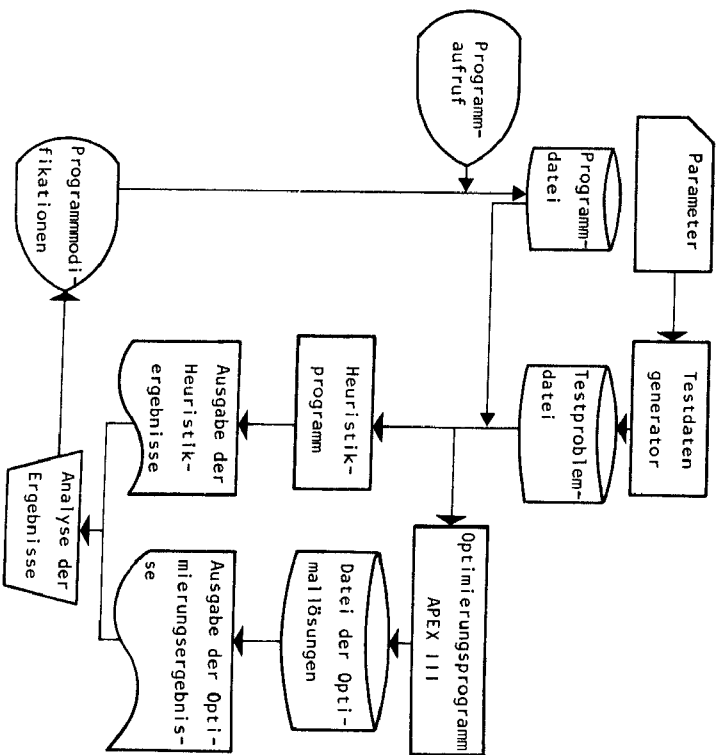


Abb. 72 : Interaktiver Ablauf des Konstruktions- und Evaluationsprozesses

Hilfe der Optimierungsoftware APEX III¹⁾ für lineare, gemischt-ganzzahlige Probleme optimal gelöst. Im Dialog wurde dann das Programm des zu testenden heuristischen Lösungsverfahrens aufgerufen und auf die Testprobleme angesetzt. Da die entworfenen Heuristiken alle primal konstruiert sind, wurde für jedes Testproblem eine zwar in der Regel nicht optimale, aber zulässige Lösung ermittelt. Die Abweichungen zwischen Optimallösungen und Heuristiklösungen wurden am Bildschirm analysiert. Unmittelbar einschichtige Unzulänglichkeiten des Heuristikprogramms wurden sofort verbessert, auch wurde versucht, durch alternative Auslegungen kleinerer Verfahrensdetails die Lösungen zu verbessern. Es empfielt sich, alle logischen Programmänderungen und die damit erreichten Testergebnisse sehr genau zu dokumentieren, da gerade beim interaktiven Dialog die Gefahr des unsystematischen Problemers sehr groß ist.

Wurden größere Programmänderungen als notwendig erachtet, so wurden diese zunächst verbal und in Programmablaufplänen beschrieben und mit Hilfe des Taschenrechners auf ihre voraussichtliche Güte überprüft. Erst danach wurden diese codiert und in das Programm der jeweiligen Heuristik eingefügt. Steht dem Konstrukteur ein on-line-terminal direkt am Arbeitsplatz zur Verfügung, so ist es meines Erachtens durchaus möglich und aus Zeitersparnisgründen sinnvoll, auch größere Programmänderungen interaktiv vorzunehmen.

"Die Techniken, die bei der Implementation eines Algorithmus auf einem Computer angewandt werden, können in sehr

¹⁾ Diese Software des Herstellers Control Data Corporation stand an der Rechenanlage des Wissenschaftlichen Rechenzentrums Berlin zur Verfügung.

- hohem Maße Rechenzeit und Speicherplatz des Computercodes beeinflussen." ¹⁾ Bevor ein Computerprogramm eines heuristischen Lösungsverfahrens als endgültig betrachtet wird, sollte daher überlegt werden, ob eine Optimierung nach EDV-technischen Gesichtspunkten notwendig ist. Da eine solche Programmverbesserung unter Umständen sehr zeit- und kostentensiv sein kann, ist sie nur insoweit sinnvoll, wie sie
- notwendig ist, um die Heuristik auf dem vorgesehenen Rechner laufen zu lassen, insbesondere dann, wenn dieser eine kleinere Kapazität als der "Testrechner" hat.
 - im laufenden Betrieb Kostenersparnisse erbringt, die den einmaligen Optimierungsaufwand übertreffen.
- Welche Maßnahmen im Einzelfall sinnvoll sind, hängt sehr stark von den Eigenheiten des verwendeten Rechners, des Betriebssystems und des Compilers ab.

Den Anschluß der Verfahrensentwicklung bildet die systematische Verfahrensevaluation. Sie entscheidet letztlich darüber, ob das heuristische Lösungsverfahren dem Anspruchsniveau entspricht und daher zur Verwendung in praktischen Problemstellungen empfohlen werden kann oder ob Modifikationen des Verfahrens oder des EDV-Programms notwendig sind. Erfüllt eine Heuristik trotz mehrfacher Verbesserungversuche nicht das gegebenenfalls angepaßte Anspruchsniveau, so ist die Verfahrensentwicklung als "unfruchtbar" abzubrechen und nach alternativen Vorgehensweisen zu suchen. Auf Einzelheiten der Verfahrensevaluation wird in Abschnitt 7.6. eingegangen.

1) Stul, U.; Implementationstechniken für einen Branch-and-Bound-Algorithmus zur Lösung von (0-1)-Programmen, a.a.O., S. 497

7.4. Beschreibung der entwickelten Öffnungsverfahren

7.4.1. Allgemeiner Aufbau

Orientiert man sich an der Systematik von Müller-Merbach, so lassen sich die im folgenden darzustellenden Heuristiken als Öffnungsverfahren mit abnehmendem Freiheitsgrad kennzeichnen. ¹⁾ Wie in Abschnitt 6 ausgeführt wurde, ist diese Verfahrensart dadurch gekennzeichnet, "daß die Zahl der verbleibenden Alternativen im Verlauf des Verfahrens abnimmt." ²⁾

Zwar wird den Lösungsverfahren mit zunehmendem Freiheitsgrad eine höhere Lösungsqualität zugeschrieben, ³⁾ doch wird diese nach Experimenten des Verfassers mit einem sehr starken Anwachsen des Rechenaufwandes erkauft. Die Vielzahl der jeweils zu betrachtenden alternativen Lösungen macht diese Verfahrensart für Auswahlprobleme mit sehr vielen Variablen unwirtschaftlich. Nach ersten Entwurfsüberlegungen und Experimenten wurde daher auf die Entwicklung einer Heuristik mit zunehmendem Freiheitsgrad verzichtet.

Die Struktur aller entworfenen Heuristiken ist im Grundsatz gleich:

- (1) Zunächst wird für jedes Investitions- und Finanzierungsprojekt auf der Grundlage ausgewählter finanzieller Vor-

1) Vgl. etwa Müller-Merbach, H.; Heuristische Verfahren und Entscheidungsbaumverfahren, a.a.O., Sp. 1816 ff.

2) derselbe; Heuristische Verfahren, a.a.O., S. 348

3) Vgl. etwa derselbe; Heuristische Verfahren und Entscheidungsbaumverfahren, a.a.O., Sp. 1825 - dort auch die Anwendung auf ein Knapsack-Problem.

teilmassstäbe isoliert eine Kennziffer ermittelt.

(2) Dann werden die Projekte diesen Vorteilsmassstäben entsprechend in eine Reihenfolge gebracht. Dadurch entstehen Prioritätslisten für die Planelemente Investitionen und Kredite (Operator-Reihenfolge).

(3) Zunächst werden dann Investitionen in das Programm aufgenommen, bei Verletzung der Liquidität dann Kredite (Operator-Anwendung).

(4) Die resultierenden Investitions- und Finanzierungsprogramme werden dann bewertet, gegebenenfalls von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen oder zum Ausgangspunkt für die Aufnahme weiterer Projekte genommen.

(5) Die Verfahren brechen ab, wenn trotz mehrfacher Versuche keine verbesserte Lösung gefunden wurde.

Durch diesen sehr einfachen Aufbau sind alle im folgenden vorgestellten Heuristiken auch zur manuellen Ermittlung von Investitions- und Finanzierungsprogrammen, gegebenenfalls unterstützt durch kleinere Rechenanlagen verwendbar.

7.4.2. Bewertung der Planelemente und Festlegung der Arbeitsreihenfolge

Wie erwähnt, benutzen alle entworfenen heuristischen Eröffnungsverfahren das spezielle Konzept der finanzwirtschaftlichen Vorteilsmassstäbe zur Bewertung der Planelemente und zur Festlegung der Arbeitsreihenfolge. Aufgrund der Vielzahl der in der Literatur vorgeschlagenen Kriterien mußte eine Auswahl vorgenommen werden. Berücksichtigt wurden neben der Kapitalwertmethode und der Me-

thode des internen Zinsfußes ¹⁾ die Kapitalwertrate ²⁾, die Kapitalwertrentabilität ³⁾, der Vermögenswert ⁴⁾, der Finalwert ⁵⁾, die Average Return Rate ⁶⁾, die Vermögensrentabilität ⁷⁾, der kritische Sollzinsfuß ⁸⁾ und die Initialverzinsung ⁹⁾. Neben diesen dynamischen Investitionsrechenverfahren wurde als einziges statisches Kriterium die statische Rentabilität betrachtet. ¹⁰⁾ Die einzelnen Kriterien sind in Tabelle 13 mit ihren Definitionsgleichungen zusammengestellt.

- 1) Vgl. zu beiden Kriterien Blohm, H./Lüker, K.; Investition, 3. Auflage München 1974, S. 63 ff.
 - 2) Vgl. Lorie, J.H./Savage, I.J.; Three Problems in Rationing Capital, a.a.O., S. 31
 - 3) Vgl. Kuschwitz, L.; Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O., S. 216
 - 4) Vgl. Henke, M.; Vermögensrentabilität - ein einfaches dynamisches Investitionskalkül, in: ZfB 43.Jg. (1973), S. 117-196, hier: S. 186
 - 5) Vgl. Kuschwitz, L.; Finanzmathematische Endwert- und Zinsfußmodelle, a.a.O., S. 250 f.
 - 6) Vgl. Bernhardt, R.H.; Discount Methods for Expenditure Evaluation - A Clarification of their Assumptions, in: The Journal of Industrial Engineering Vol. 13 (1962), S. 19-27, hier: S. 25 - Vgl. derselbe, A Comprehensive Comparison and Critique of Discounting Indices Proposed for Capital Investment Evaluation, a.a.O., S. 160
 - 7) Vgl. auch Solomon, E.; The Arithmetic of Capital-Budgeting Decisions, in: JOB Vol. 29 (1956), S. 124-129, hier: S. 126 und Albach, H.; Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit betrieblicher Investitionen, in: ZfB 29. Jg. (1959), S. 419-431, hier: S. 428
 - 8) Vgl. Henke, M.; Vermögensrentabilität - ein einfaches dynamisches Investitionskalkül, a.a.O., S. 187
 - 9) Vgl. Kuschwitz, L.; Finanzmathematische Endwert- und Zinsfußmodelle, a.a.O., S. 254 f.
 - 10) Vgl. Hax, H.; Investitionstheorie, a.a.O., S. 24 - Die Initialverzinsung ist mit der von Iutz, F./Iutz, V.; The Theory of Investment of the Firm, Princeton 1951, S. 159 f. Beschriebenen "net short-term internal rate of return" identisch.
- 10) Vgl. Blohm, H./Lüker, K.; Investition, a.a.O., S. 153 ff.

Zur Ermittlung des von den meisten Kriterien benötigten Kalkulationszinsfußes wurden zwei alternative Wege beschritten:

(1) Bei der ersten Variante wurde der Kalkulationszinsfuß als arithmetisches Mittel aus Soll- und Habenzins angenommen. Es gilt also $i_t = 0.5 (s_t + h_t)$. 1)

(2) In einer zweiten Variante wurden die Kalkulationszinsfüße nach dem speziellen Konzept des endogenen Zinsfußes aus den Dualwerten der kontinuierlichen Optimierung abgeleitet. 2)

Bei der Bildung von Abarbeitungsreihenfolgen für die Plan-elemente wurde folgendermaßen vorgegangen: Die Investitionen wurden bei allen Kriterien in fallender Reihenfolge auf eine Liste (I-Liste) gesetzt. Demgegenüber mußte bei Finanzierungsprojekten zwischen Vermögenswert- und Zinsfußmethoden unterschieden werden. Bei Vermögenskriterien wurden die Finanzierungsmaßnahmen ebenfalls in fallender Reihenfolge der Kriterienwerte auf der F-Liste geordnet, bei Verzinskungskriterien wurde hingegen sinvollerweise der Kredit mit dem höheren Zinsfuß geringer eingestuft als derjenige mit dem niedrigeren Wert.

Auch bei der Bildung der Prioritätenlisten (I-Liste und F-Liste) kann das spezielle Konzept des endogenen Zinsfußes sinnvoll ausgenutzt werden. Bei der untersuchten Problemstruktur mit der Annahme eines unvollkommenen und unbeschränkten Kapitalmarktes lassen sich die Prioritätslist-

1) Vgl. zu diesem Vorgehen auch Kruschwitz, L.: Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O., S. 216
 2) Vgl. dazu Abschnitt 6.3.3.2.

Finanzieller Vorteilhaftigkeitsmaßstab	Symbol	Berechnungsformel
Barwert	BKW	$BKW = \sum_{t=0}^T z_t (1+i)^{-t}$
Barwertverzinsung	BKRV	$BKRV = \frac{\sum_{t=0}^T z_t (1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^T z_t (1+i)^{-t}}$
Barwertrentabilität	BKRNTA	$BKRNTA = \frac{\sum_{t=0}^T z_t (1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^T z_t (1+i)^{-t}}$
Vermögenswert	VMW	$VMW = \sum_{t=0}^T z_t^+ (1+h)^{-t} + \sum_{t=0}^T z_t^- (1+s)^{-t}$
Finalwert	FMW	$FMW = HM_t$ mit $HM_0 = z_0$ und für $t > 0$: $HM_t = z_t + \{HM_{t-1}(1+s), \text{ wenn } HM > 0\}$ $HM_{t-1}(1+h), \text{ wenn } HM < 0$
Interner Zinsfuß	IZIFU	$IZIFU = r$ mit $\sum_{t=0}^T z_t (1+r)^{-t} \stackrel{!}{=} 0$
Average Return Rate	ARRA	$ARRA = r$ mit $z_0 (1+r)^{-1} + \sum_{t=1}^T z_t (1+h)^{-t}$
Vermögensrentabilität	VRNTA	$VRNTA = r$ mit $\sum_{t=0}^T z_t^+ (1+r)^{-t} + \sum_{t=0}^T z_t^- (1+h)^{-t}$
Kritischer Sollzinsfuß	KRISO	$KRISO = r$ mit $HM_0 = z_0$ und für $t > 0$: $HM_t = z_t + \{HM_{t-1}(1+h), \text{ wenn } HM > 0\}$ $HM_{t-1}(1+r), \text{ wenn } HM < 0$
Initialverzinsung	INTI	$INTI = \frac{\sum_{t=0}^T z_t (1+i)^{-t-1}}{z_0}$
Statische Rentabilität	SRNT	$SRNT = \frac{1/r \sum_{t=0}^T z_t}{\sum_{t=0}^T z_t}$ mit $t+1 = \text{Jahr des ersten Rückflusses}$ $-1/2 \sum_{t=0}^T z_t$

Tab. 13: Berechnungsformeln für die verwendeten finanziellen Vorteilskriterien

sten durch Anwendung folgender Regeln beschränken: ¹⁾

- (1) Gilt für eine Investition $BKW (s_t) > 0$, so nimm die Investition in das Programm auf und streiche sie von der I-Liste.
- (2) Eine Investition, für die $BKW (h_t) < 0$ gilt, läßt sich hingegen von der I-Liste und damit von der weiteren Betrachtung sofort ausschließen.
- (3) In analoger Weise können Kredite mit $BKW (h_t) > 0$ sofort aufgenommen und solche mit $BKW (s_t) < 0$ von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

Die Betrachtung kann danach auf die verbleibenden Projekte reduziert werden. ²⁾

7.4.3. Beschreibung der weiteren Verfahrenselemente

7.4.3.1. Eröffnungsverfahren SPIEL 1

Das heuristische Verfahren SPIEL 1 entspricht in seinem Ablauf weitgehend dem Vorgehen der klassischen Investitionsrechnung bei Wahlentscheidungen. Alle Projekte, die auf der Prioritätenliste stehen und deren finanzieller Kriterien-

- 1) Vgl. dazu Hax, H./Laux, H.; Investitionstheorie, a.a.O., S. 237 ff. und Hax, H.; Investitionstheorie, a.a.O., S. 104 ff.
- 2) Dies gilt strenggenommen nur für Investitionsprojekte (Kredite), die durch Auszahlungsüberschüsse (Einzahlungsüberschüsse) zu Beginn und danach durch Einzahlungsüberschüsse (Auszahlungen) gekennzeichnet sind. Vgl. für andere Fälle Pye, G.; Present values for imperfect capital markets, in: JOB Vol. 39 (1966), S. 45-51
Auch wird bei dieser Regel die Ganzzahlkeitsbedingung vernachlässigt. Vgl. Laux, H./Franke, G.; Das Versagen der Kapitalwertmethode bei Ganzzahlkeitsbedingungen, in: ZDfF 22. Jg. (1970), S. 517-527

wert einen bestimmten Vergleichswert nicht unterschreitet, werden in das Programm aufgenommen. Der Vergleichswert ergibt sich aus den bei den einzelnen Vorteilhaftigkeitsmaßstäben unterstellten Entscheidungsprämissen. "Bei der Kapitalwertberechnung werden die Zahlungsströme einer Handlungsmöglichkeit an einer alternativen Handlungsmöglichkeit gemessen (Investition, Finanzierungsmöglichkeit), die sich gerade zum Kalkulationszinssatz verzinst. Diese alternative Handlungsmöglichkeit besitzt den Kapitalwert Null. ¹⁾ "Ein Vorhaben gilt somit als vorteilhaft, wenn sein Kapitalwert größer als Null ist." ²⁾ In analoger Weise werden bei der Methode des internen Zinsfußes Projekte nur dann als vorteilhaft angesehen, wenn der Kriterienwert nicht kleiner ist als der Kalkulationszinssatz. Eine vollständige Übersicht der Vergleichswerte für Investitionen und Finanzierungsprojekte in bezug auf alle Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe gibt Tabelle 14. ³⁾

Allerdings führt die Aufnahme aller Projekte nach Maßgabe ihres finanziellen Vorteilhaftigkeitswertes nicht in jedem Fall zu einer zulässigen Lösung, da der Finanzplan des Investitions- und Finanzierungsprogramms nicht ausgeglichen sein muß. Die Zulässigkeit des Programms wurde daher durch Ergänzungsaktivitäten auf dem unbeschränkten und unvollkommenen Kapitalmarkt hergestellt. Dies geschah mit Hilfe des von Kruschwitz beschriebenen "Systems der allgemeinen

- 1) Schneider, D.; Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 203
- 2) Eberdorf
- 3) Vgl. dazu und zu einem ähnlichen Verfahren Kruschwitz, L.; Zur heuristischen Optimierung von Investitionsprogrammen auf der Basis finanzmathematischer Kriterien, a.a.O., S. 19 f.

Vorteilhaftigkeits- Symbol Vergleichswert Vergleichswert
 maßstab für Investiti- für Kredite
 onen

Barkapitalwert	BKW	> 0	> 0
Kapitalwerttrate	BKRATE	> 0	> 0
Kapitalwerttren- tabilität	BRENTA	> 0	> 0
Vermögenswert	VWERT	> 0	> 0
Finalwert	FWERT	> 0	> 0
Interner Zinsfuß	IZIFU	> 1	< 1
Average return rate	AVERRA	> 1	< 1
Vermögensrenta- billität	VRENTA	> S	< S
Kritischer Soll- zinsfuß	KRISO	> S	< S
Initialverzinsung	ININTI	> 1	< 1
Statische Renta- billität	STARENT	> 1	< 1

Tabelle 14 : Vergleichswerte für finanzwirtschaftliche Vor-
 teilhaftigkeitsmaßstäbe

Rechenregeln. ¹⁾ Da diese Rechenregeln auch in den anderen
 heuristischen Lösungsverfahren eine Rolle spielen, seien
 sie kurz skizziert (vergleiche Abbildung 73): ²⁾

Gefragt ist nach der Höhe des Endvermögens
 C_T in Abhängigkeit von

(M_0, M_1, \dots, M_T) entscheidungsunabhängigen Zahlungen
 der Perioden 0 bis T

(z_0, z_1, \dots, z_T) der Zahlungsreihe des Programms, die
 sich aus der Aggregation der Zahlun-
 gen aller bisher aufgenommenen Kre-
 dite und Investitionen ergibt

(E_0, E_1, \dots, E_T) den, vom Investor vorgegebenen Ent-
 nahmen

(h_1, h_2, \dots, h_T) dem Habenzinsvektor

(s_1, s_2, \dots, s_T) dem Sollzinsvektor

Für den hier unterstellten Fall, daß die Habenzinsen in al-
 len Perioden kleiner sind als die jeweiligen Sollzinsen,
 läßt sich der Endwert von der ersten bis zu letzten Periode

1) Vgl. Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 61 ff. und
 derselbe, Endwert- und Entnahmemaximierung bei alternativen Investi-
 tionsprojekten, in: DB 31. Jg. (1978), S. 549-554 und 597-600

2) Vgl. ebendort, dort auch die andere Symbolik
 Die Ableitung sei auf den Fall $s_t > h_t$ für alle t beschränkt, da die
 Rechenregeln im anderen Fall sehr komplex werden. Vgl.
 Kammerdiener, R.: Weiterentwicklung des Systems der allgemeinen Re-
 chenregeln von Kruschwitz, L., a.a.O.
 Vgl. auch Kruschwitz, L./Kammerdiener, R.: Modifizierte Algorithmen
 zur Beurteilung alternativer Investitionsprojekte bei Bräwert- und
 Entnahmemaximierung, Diskussionspapier 46 des Instituts für Wirt-
 schaftswissenschaften, TU Berlin 1979

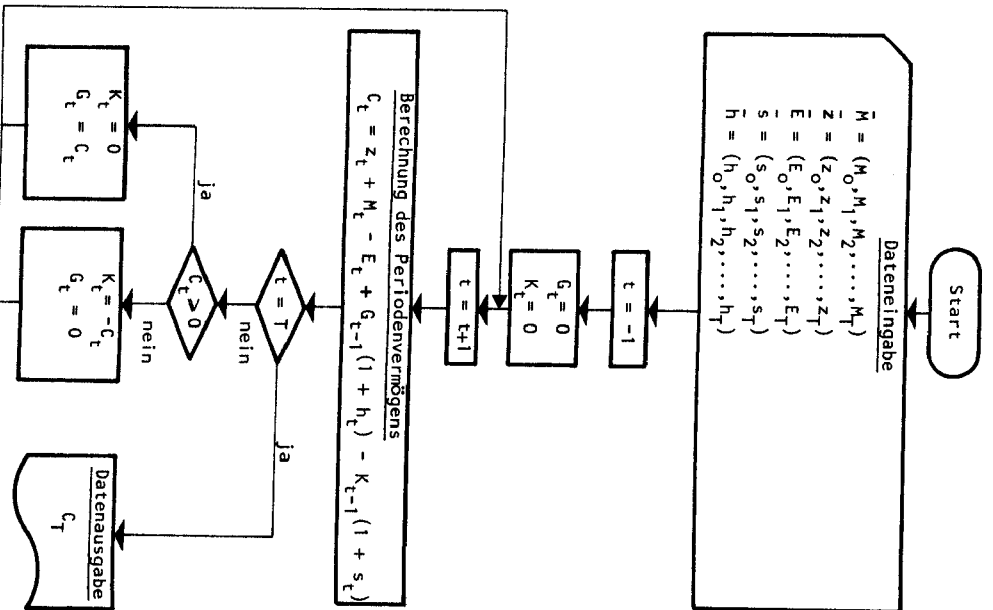


Abb. 73 : System der allgemeinen Rechenregeln von Kruschwitz für den Fall $s_t > h_t$ für alle Planperioden t

fortschreitend berechnen:

In $t=0$ gilt: $C_0 = z_0 + M_0 - E_0$

Für alle $t > 0$ gilt:

$$C_t = z_t + M_t - E_t + \begin{cases} C_{t-1}(1+h_t), & \text{falls } C_{t-1} > 0 \\ C_{t-1}(1+s_t), & \text{falls } C_{t-1} < 0 \end{cases}$$

Damit sind alle Elemente des Eröffnungsverfahrens SPIEL 1 beschrieben. Das Verfahren läuft also in folgenden Schritten ab:

- (1) Berechne für alle Investitions- und Finanzierungsprojekte deren finanzwirtschaftlichen Kriterienwert nach dem jeweils verwendeten Vorteilhaftigkeitsmaßstab. Bilde eine I-Liste und eine F-Liste.
- (2) Nimm alle Projekte, deren Kriterienwert den jeweils geltenden Vergleichswert nicht unterschreitet, in das Programm auf.
- (3) Führt das so gebildete Programm nicht zu einem vollständigsten, das heißt die Bedingungen (2) des Entscheidungsmodells erfüllenden Finanzplan, so stelle die Zulässigkeit des Programms durch Ergänzungsaktivitäten auf dem unvollkommenen Kapitalmarkt her. Verwende dazu das System der allgemeinen Rechenregeln.

Da das Eröffnungsverfahren SPIEL 1 alle Interdependenzen zwischen den Projekten vernachlässigt, indem es alle Investitions- und Finanzierungsmaßnahmen isoliert beurteilt, ist von ihm selbst nur eine geringe Lösungsqualität zu erwarten. Allerdings lassen die Erkenntnisse der Investitionstheorie den Schluß zu, daß die Qualität einer solchen Partialplanung

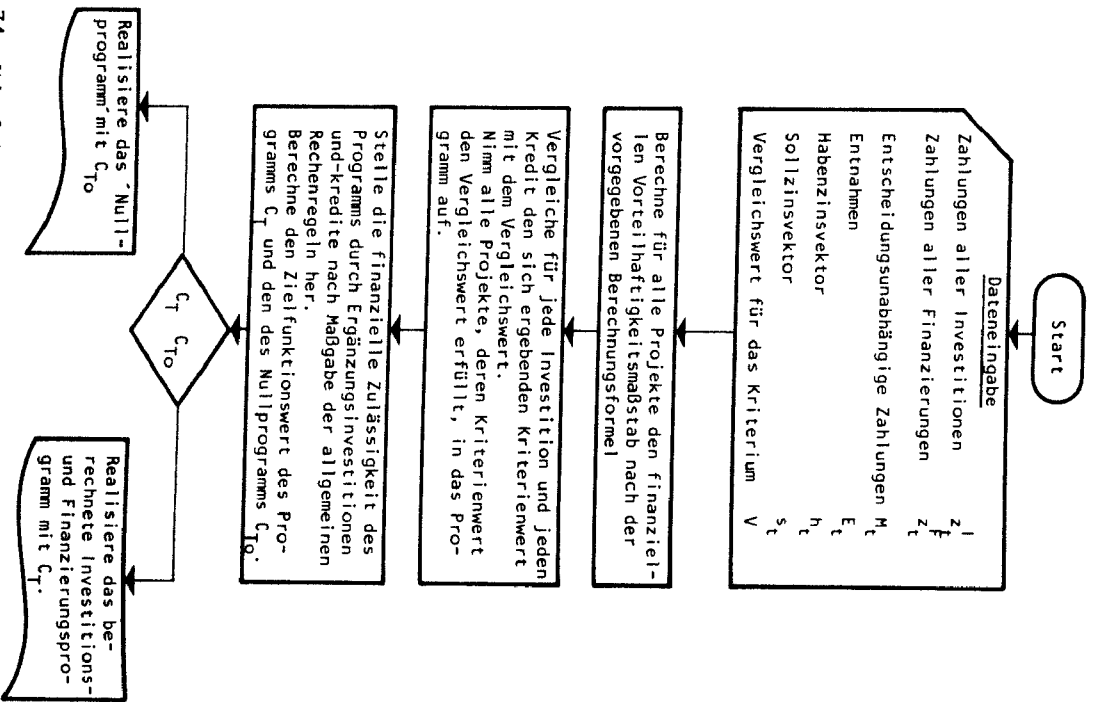


Abb. 74 : Ablauf des Eröffnungsverfahrens SPEL 1

stark von den verwendeten Kalkulationszinsfüßen abhängt. ¹⁾
Die indirekte Berücksichtigung der Interdependenzen des Entscheidungsfeldes durch Vorgabe geeigneter "endogener" Zinsfüße kann also vermutlich die Lösungsqualität von SPEL 1 steigern.

7.4.3.2. Eröffnungsverfahren DEAN ¹

Die Heuristik entspricht weitgehend dem von Dean vorgeschlagenen Konzept des "Capital Budgeting." ²⁾ Dieses Konzept zur Bestimmung des optimalen Investitions- und Finanzierungsprogramms wird heute allgemein als Heuristik interpretiert ³⁾, da der Ansatz die Liquidität nur in der ersten Periode sicher und er in der Ursprungsversion mit dem angreifbaren Maß des Internen Zinssatzes arbeitet. ⁴⁾ Somit kann die optimale Lösung verfehlt werden. "Allerdings spricht vieles dafür, daß im allgemeinen das optimale Kapitalbudget nur geringfügig verfehlt wird, daß man also auf jeden Fall ein gutes Kapitalbudget erreicht, wenn auch nicht immer das beste." ⁵⁾

1) Vgl. dazu Abschnitt 6.3.3.2.

2) Vgl. Dean, J.: Capital Budgeting, Top Management Policy on Plant Equipment and Product Development, 4. Aufl. New York 1959, derselbe, Kapitalbudgetierung und Investitionsprogramm, in: SZU Bd. 4 (1968), S. 63-76

3) Zu dieser Interpretation vgl. Hax, H.: Investitionstheorie, a.a.O., S. 84 - Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 156 - Siegel, Th.: Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen, S. 23 ff.

4) Zu den Mängeln des Verfahrens vgl. Hax, H.: Investitionstheorie, a.a.O., S. 85 ff. und Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, a.a.O., S. 153 f.

5) Hax, H.: Investitionstheorie, a.a.O., S. 84

Das Verfahren von Dean ist nur für Verzinsungskriterien definiert. ¹⁾ Um auch die anderen finanzwirtschaftlichen Kriterien in Verbindung mit diesem Prioritätsregelverfahren verwenden zu können, muß der Ansatz modifiziert werden.

Da die Heuristik zur Bildung der Kapitalangebots- und der Kapitalnachfragekurve relative Kriterien benötigt, mußten zudem die Kriterienwerte des Vermögenswerts und des Finalwerts durch die Anfangszahlung des Projektes dividiert werden. Auf der Basis der so entstehenden Vermögenswerttrate $VWRATE$ und Finalwerttrate $FWRATE$ mußten neue Prioritätslisten erzeugt werden.

Mit diesen Modifikationen läuft das Verfahren in folgenden Schritten ab: ²⁾

(1) Nimm das erste noch auf der I-Liste stehende Projekt in das Programm auf und streiche es von der Liste.
Wurde die I-Liste auf der Grundlage eines Nutzenkriteriums aufgestellt und unterschreitet der Kriterienwert des Projekts den entsprechenden Vergleichswert, so gehe nach (3).

(2) Ermittle den Zahlungssaldo in $t=0$. Ist dieser positiv, gehe nach (1). Sonst

(3) nimm den ersten, noch auf der F-Liste stehenden Kredit vorläufig in das Programm auf und prüfe, ob der Kriterienwert des Kredites W^F Kleiner ist als der Kriterienwert der letzten aufgenommenen Investition W^I .

1) Dean selbst schlägt alternativ die Methode des Internen Zinsfußes und die Statistische Rentabilität vor. Vgl. Dean, J.: Capital Budgeting, a.a.O., S. 26 - Hax plädiert stattdessen für die Initialverzinsung (vgl. Hax, H.; Investitionstheorie, a.a.O., S. 79 ff.) und Siegel prüft die "Average return rate" (vgl. Siegel, Th.: Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen, a.a.O., S. 23 ff.)

2) Weitere Modifikationen sind erforderlich, wenn die Prioritätslisten durch Verwendung des Konzepts des endogenen Zinsfußes beschränkt werden. Vgl. dazu Abschnitt 6.3.3.2.

(4) Gilt $W^F < W^I$, so nimm das Finanzierungsprojekt endgültig in das Programm auf und gehe nach (2). Anderenfalls entferne den Kredit wieder aus dem Programm und gehe nach (5).

(5) Mache das Programm mit Hilfe von Ergänzungsaktivitäten auf der Grundlage der allgemeinen Rechenregeln zulässig und berechne den Zielfunktionswert.

Da das Eröffnungsverfahren von Dean zwar die Interdependenzen zwischen den Investitions- und Finanzierungsprojekten in der ersten Planperiode berücksichtigt, die Liquiditätsbedingungen aller anderen Perioden hingegen vernachlässigt, ist einerseits zwar eine Überlegenheit gegenüber SPIEL 1 zu erwarten, andererseits aber im Vergleich zu einem Algorithmus eine deutlich geringere Lösungsqualität.

Angesichts der theoretischen Mängel der Internen Zinsfuß-Methode ist weiterhin zu erwarten, daß die besser mit der finanziellen Zielsetzung des Entscheidungsmodells übereinstimmenden Vorteilhaftigkeitskriterien AVERA und INTRI zu einer hohen Lösungsqualität führen werden. ¹⁾

7.4.3.3. Eröffnungsverfahren DEAN 2

Diese Heuristik entspricht weitgehend DEAN 1. Durch Austauschoperationen wird in diesem Lösungsverfahren versucht, Ergänzungsaktivitäten durch Investitionen bzw. Finanzierungsmaßnahmen zu ersetzen, um so den Endwert des resultierenden Investitionsprogramms zu steigern. Unterschiedliche dieses Verfahrens gegenüber der Heuristik DEAN 1 beschränken

1) Zur Diskussion der Zielkonformität beider Kriterien vgl. Siegel, Th.: Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen, a.a.O., S. 11 ff. und Blumentrath, U.: Investitions- und Finanzplanung mit dem Ziel der Brückwertmaximierung, a.a.O., S. 299 ff.

sich auf Schritt (5). Dieser Schritt zerfällt jetzt in

(5.1) Ermittle den Zahlungssaldo in $t=0$. Ist dieser positiv, gehe nach (5.2); sonst nach (5.3).

(5.2) Es besteht ein Liquiditätsüberschuß. Suche auf der I-Liste nach dem ersten Projekt, für das gilt $z_{01}^I / z_{01}^I < \text{Li-liquiditätsüberschuß}$ in $t=0$. Nimm dieses Projekt auf, streiche es von der I-Liste und gehe nach (5.1).
Wurde die Liste abgearbeitet, ohne daß ein entsprechendes Investitionsprojekt gefunden wurde, gehe nach (5.4).

(5.3) Es besteht ein Liquiditätsengpaß in $t=0$. Suche auf der F-Liste nach der ersten Finanzierungsmaßnahme, für die gilt $-z_{0j}^F > \text{Liquiditätsfehlbetrag}$. Nimm dieses Projekt auf, streiche es von der F-Liste und gehe nach (5.1). Wurde die Liste abgearbeitet, ohne daß ein entsprechender Kredit gefunden wurde, gehe nach (5.4).

(5.4) Mache das Programm mit Hilfe von Ergänzungsaktivitäten auf dem unvollkommenen Kapitalmarkt gemäß den allgemeinen Rechenregeln zulässig und berechne den Zielfunktionswert C_T^* .

Da dieses Eröffnungsverfahren versucht, wenig ertragreiche Ergänzungsinvestitionen durch Projektinvestitionen beziehungsweise teure Ergänzungskredite durch Projektkredite zu ersetzen, ist von ihm eine Steigerung der Lösungsqualität gegenüber DEAN 1 zu erwarten.

7.4.3.4. Eröffnungsverfahren SPIEL 2

Die bisher beschriebenen Eröffnungsverfahren waren einfache Prioritätsregelverfahren. Auf der Basis eines finanziellen Vorteilhaftigkeitsmaßstabes wurden Prioritätslisten der Projekte aufgestellt. Diese Listen wurden solange von oben herab abgearbeitet, bis ein einfacher Vergleich den Abbruch des Lösungsprozesses bewirkte.

"Wesentlich bessere Lösungen als die Prioritätsregelverfahren bringen häufig die im Detail aufwendigeren Vorausschauregelverfahren. In ihnen sind die einfachen Prioritätsregeln durch Vorausrechnungen ersetzt, die meistens in der Lösung eines relaxierten Problems bestehen." ¹⁾

Auch SPIEL 2 verwendet zwar die finanzwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe zur Festlegung der Abarbeitungsreihenfolge der Planelemente, doch erfolgt die Bewertung der Güte eines Planelements durch Lösung eines vereinfachten Problems. Die Wirkung eines Investitions- beziehungsweise Finanzierungsobjekts auf den Zielfunktionswert des Gesamtprogramms wird dazu mit Hilfe der allgemeinen Rechenregeln abgeschätzt. Definitionsgemäß führen diese Rechenregeln immer zu einem zulässigen Programm. Erst nach dieser primären Abschätzung des resultierenden Zielfunktionswertes entscheidet die Heuristik über Aufnahme oder Ablehnung eines Planelements. Im einzelnen läuft das Vorausschauregelverfahren SPIEL 2 in folgenden Schritten ab:

(1) Ermittle den Zielfunktionswert des Nullprogramms C_T^{Null} .
 C_T^{Null} ist der Zielfunktionswert, der erreicht wird, wenn

¹⁾ Müller-Merbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 73

die entscheidungsunabhängigen Zahlungen M_t vermindert um die vorgegebenen Entnahmen am unvollkommenen Kapitalmarkt angelegt werden. Ist $C_{Null} < 0$, so setze den Hilfswert $HW = C_{Null}$. Sonst setze $HW = 0$.

(2) Nimm das erste noch auf der I-Liste stehende Projekt vorläufig in das Programm auf und berechne mit Hilfe der allgemeinen Rechenregeln den Zielfunktionswert C_T des neuen Programms. Ist die I-Liste leer, gehen nach (8); sonst nach (3).

(3) Ist $C_T > HW$, so nimm die Investition endgültig auf und streiche sie von der I-Liste. Setze $HW = C_T$. Gehe nach (4).

Ist $C_T < HW$, so streiche das Projekt und gehe nach (2).

(4) Prüfe, ob in allen Perioden die Liquiditätsbedingungen erfüllt sind, wenn keine Ergänzungsaktivitäten realisiert werden. Ist das der Fall, gehe nach (2). Besteht hingegen ein Liquiditätsengpaß, gehe nach (5).

(5) Prüfe, ob die F-Liste nicht gesperrte Kredite enthält. Wenn nein, gehe nach (2). Sonst prüfe, ob der erste nicht gesperrte Kredit in einem der Zeitpunkte mit Liquiditätsengpaß Einzahlungen verursacht.

(6) Wenn nein, sperre den Kredit für diesen Durchlauf und gehe nach (5). Sonst

(7) nimm den Kredit vorläufig in das Programm auf und berechne mit Hilfe der allgemeinen Rechenregeln den Zielfunktionswert C_T .

Ist $C_T > HW$, so nimm den Kredit endgültig auf, sperre ihn und gehe nach (4). Ergibt sich hingegen $C_T < HW$, so entferne den Kredit wieder aus dem Programm, sperre ihn für diesen Durchlauf und gehe nach (5).

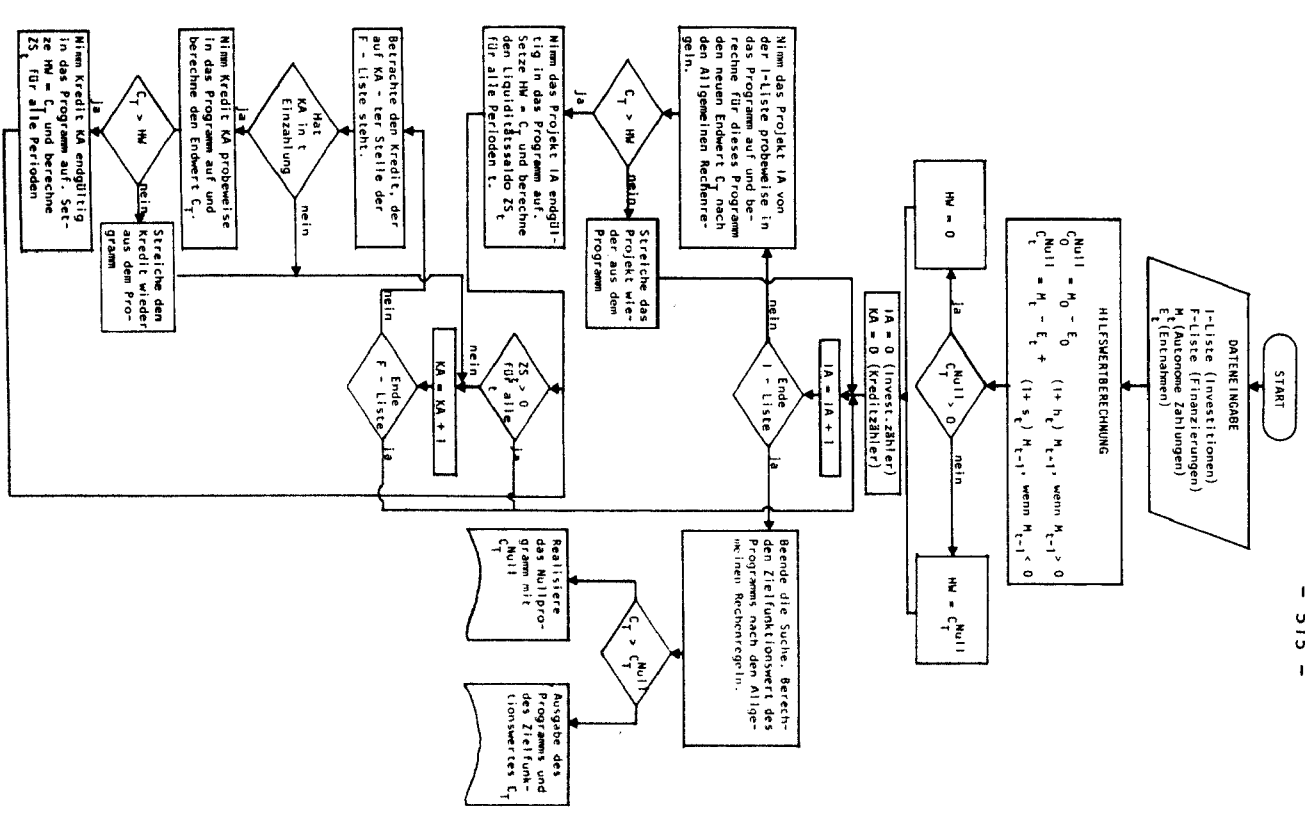


Abb. 75 : Flußdiagramm des Eröffnungsverfahrens SPIEL 2

(8) Machte das so gebildete Programm durch Ergänzungsaktivitäten auf dem vollkommenen Kapitalmarkt nach Maßgabe der allgemeinen Rechenregeln zulässig und berechne den Ziel funktionswert C_T . Ist $C_T < C_{Null}$, so verzichte auf die Durchführung von Investitionen und Krediten.

Im Unterschied zu den anderen bisher vorgestellten Eröffnungsverfahren berücksichtigt SPIEL 2 das gesamte Entscheidungsfeld. Daher ist eine Steigerung der Lösungsqualität zu erwarten. Allerdings wird die bei jedem Planelement durchgeführte Abschätzung und der späte Ausschub der Planelemente auch eine Erhöhung des Rechenaufwandes bewirken. ¹⁾

7.4.3.5. Eröffnungsverfahren SPIEL 3

Auch bei dem heuristischen Lösungsverfahren SPIEL 3 handelt es sich um ein Vorausschauregelverfahren. In seiner Anfangsphase ähnelt die Heuristik weitgehend SPIEL 2. Zur Begrenzung des Lösungsaufwandes wurden allerdings "künstliche Stopregeln" ²⁾ eingeführt, die die Anzahl der erfolglosen Suchschritte auf einen (fest vorgegebenen) Bruchteil der insgesamt zur Auswahl stehenden Investitions- beziehungsweise Finanzierungsprojekte beschränken.

Der wesentliche Unterschied zu SPIEL 2 liegt jedoch in der Anfügung einer zweiten Lösungsphase. In dieser zweiten Phase wird die ursprüngliche Abarbeitungsreihenfolge der Planelemente, die sich wiederum nach finanzwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeiten richtet, durch Anwendung eines Gradienten-

1) Vgl. dazu im Einzelnen die Ergebnisse der Verfahrensevaluation in Abschnitt 7.6.

2) Vgl. dazu Streim, H.; Heuristische Lösungsverfahren, a.a.O., S. 149 ff.

konzeptes revidiert. ¹⁾ Alle bisherigen, dem Autor bekannten Gradientenkonzepte führen nur dann zu sinnvollen Abarbeitungsreihenfolgen der Planelemente, wenn die überwiegende Zahl der Koeffizienten und der Werte der "Rechten Seite" positiv sind. ²⁾ Dies ist bei der zugrundeliegenden Problemstellung nicht der Fall. Die Vielzahl der möglichen Kombinationen aus positiven und negativen Koeffizienten der Zielfunktion, der "Rechten Seite" und der jeweils betrachteten Nebenbedingungen macht umfangreiche Abfragen notwendig, die durch Plausibilitätsüberlegungen ergänzt werden müssen, um jeweils sinnvolle Abarbeitungsreihenfolgen der Planelemente zu erhalten.

Versuche, die Prioritätenlisten auch für die 1. Lösungsphase statt mit Vorteilhaftigkeitsmaßstäben auf der Basis des Gradientenkonzeptes aufzustellen, waren nicht erfolgreich. Daher ermittelt SPIEL 3 zunächst eine Ausgangslösung auf der Basis (unmodifizierter) finanzmathematischer Kriterien, ermittelt dann die Planungsperiode mit dem größten Liquiditätsengpaß beziehungsweise -überschuß und nimmt die entsprechende Liquiditätsnebenbedingung als Basis für die Berechnung der Gradienten. Auch bei der Berechnung des Liquiditätssaldos wurden unterschiedliche Konzepte erprobt.

Variante 1 berechnete diesen als Summe der in jeder Periode anfallenden Investitions- und Kreditzahlungen einschließlich der Zahlungen der Ergänzungsaktivitäten, während Variante 2 die Ergänzungsaktivitäten nicht berücksichtigte. Wie Tabelle 15 exemplarisch für ein Problem zeigt, erbringt Variante 2 die besseren Ergebnisse sowohl hinsichtlich der Lösungs-

1) Vgl. dazu Abschnitt 6.2.1.4.

2) Vgl. ebendort

Kriterium	Variante 1											Variante 2											
	\bar{x}	>20%	>15%	>10%	>5%	>4%	>3%	>2%	>1%	>0%	s	\bar{x}	>20%	>15%	>10%	>5%	>4%	>3%	>2%	>1%	>0%	s	
BKW	7,3	-	7	25	30	4	7	11	10	6	4,8	1,3	1	-	-	-	-	1	10	39	49	2,2	
BKRATE	6,7	-	7	18	31	5	10	14	13	2	4,8	0,7	-	-	-	-	-	2	6	16	76	0,7	
BRENTA	6,7	-	7	18	31	5	10	14	13	2	4,8	0,7	-	-	-	-	-	2	6	16	76	0,7	
WERT	99,2	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5,6	98,8	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0
FWERT	10,9	3	15	32	48	2	-	-	-	-	4,3	7,4	2	-	17	58	8	9	6	-	-	-	3,5
IZIFU	12,7	10	17	36	34	2	-	1	-	-	5,4	6,3	3	1	2	51	21	14	6	2	-	-	4,9
AVERA	13,5	14	19	39	25	2	-	-	-	-	5,5	6,1	-	-	7	62	14	6	2	8	1	-	2,5
VRENTA	13,5	10	17	36	34	2	1	-	-	-	5,7	6,0	-	-	7	60	16	6	2	8	1	-	2,5
KRISO	12,7	11	33	36	18	1	-	1	-	-	5,4	6,3	3	1	2	51	21	14	6	2	-	-	4,9
INITI	14,5	13	30	44	13	-	-	-	-	-	4,8	6,6	-	-	11	66	9	4	3	6	1	-	2,7
STARENT	17,2	29	23	36	12	-	-	-	-	-	6,9	8,7	-	-	12	39	15	10	8	7	-	-	9,2
Rechenzeit / Testlauf	1,21 sec											1,16 sec											

Tab.15 : Prozentuale Abweichung vom Optimum für SPIEL 3 bei alternativen Berechnungen der Engpaßperiode (Exemplarisch bei 100 Investitionen, 50 Krediten, 10% Zinsdifferenz, Variante t₀)

güte wie auch der Rechenzeit.

Auch durch die Variation der künstlichen Stoppregeln an den verschiedenen Stellen läßt sich das Verhältnis von Lösungsgüte zu Rechenzeitbedarf nach Erfahrungen des Verfassers unmittelbar beeinflussen. Da SPIEL 3 in der hier dargestellten Form mehrmals "kritische Planungsperioden" ermittelt und auf deren Grundlage nach Berechnung der Gradienten einen neuen Lösungsversuch macht, läßt sich der Lösungsaufwand zum Beispiel unmittelbar dadurch beeinflussen, daß man die Zahl der zu berechnenden kritischen Perioden begrenzt. Abbildung 76 stellt exemplarisch für ein Problem die erzielten Zielfunktionswerte in Abhängigkeit von der Anzahl der betrachteten "kritischen Perioden" dar. Diese Überlegungen zeigen, daß die Qualität einer Heuristik sehr stark von einzelnen Entwurfsentscheidungen abhängen.

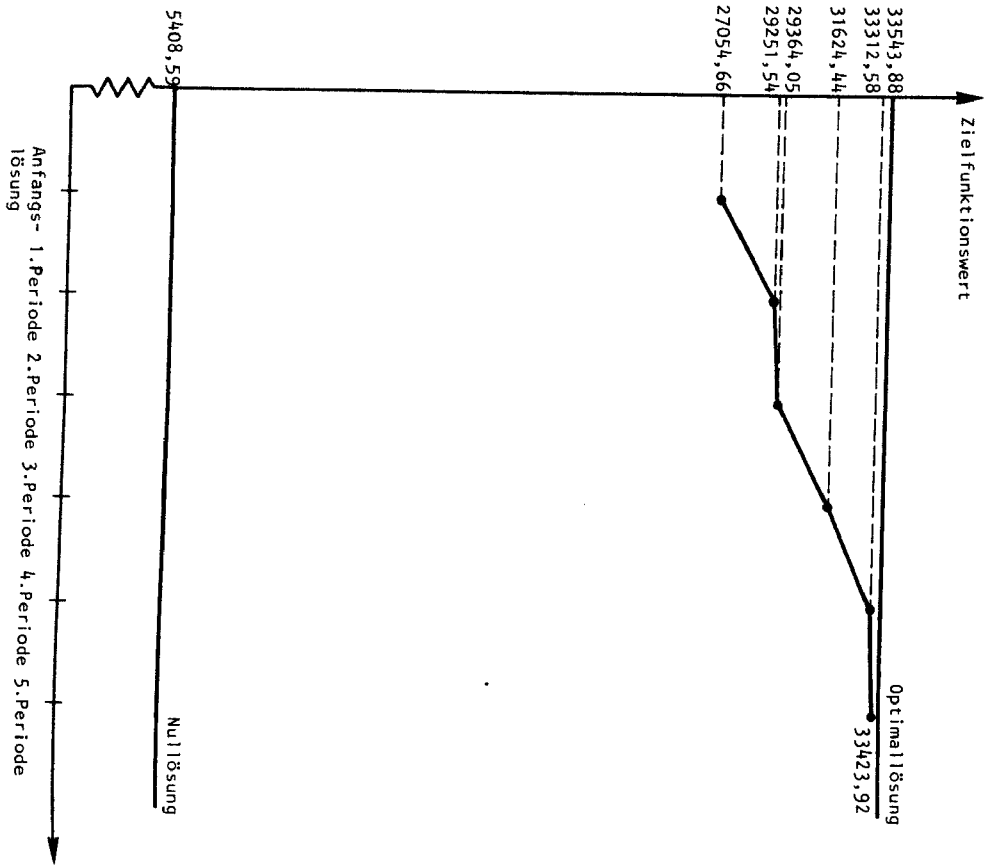


Abb 76: Abhängigkeit der Lösungsgüte von SPIEL 3 von der Anzahl der betrachteten Kritischen Perioden (Kriterium Barkapitalwertrate) [Exemplarisch 1 Problem 40 Investitionen, 20 Kredite, 10 Jahre Planungszeitraum, 10% Zinsdifferenz, alle Projekte beginnen zu Beginn des Planungszeitraums]

Im einzelnen läuft SPIEL 3 in folgenden Schritten ab (vergleiche das Flussdiagramm in Abbildung 77) :

- (1) Ermittle den Zielfunktionswert des Nullprogramms C_T^{Null} .
Ist $C_T^{Null} < 0$, so setze den Hilfswert $HW = C_T^{Null}$.
Sonst setze $HW = 0$.
Setze jeweils eine künstliche Stoppregel zur Begrenzung der Suchschritte nach Investitionen (NSUCHI), nach Krediten (NSUCHK) und nach "kritischen Planperioden" (NSUCH).
- (2) Befindet sich die Heuristik im ersten Verfahrensschritt (LSUCH = 0), so gehe zu Schritt (4). Sonst
- (3) berechne die "relativen Gradienten" für alle Projekte, die noch nicht in das Programm aufgenommen wurden, nach dem im Flussdiagramm angegebenen Formeln. Anschließend ordne die Investitionen und Kredite auf der I- beziehungsweise F-Liste nach der Höhe ihrer Gradienten.
Gehe nach (5).
- (4) Ordne die Investitionen und Kredite auf der I- beziehungsweise F-Liste nach einem finanziellen Vorteilskriterium. Betrachte die erste Planperiode als "kritische Periode" ITK.
- (5) Berechne den Zahlungssaldo des Programms für die "kritische Periode" ITK als

$$ZA(ITK) = \sum I Z(ITK, INV) + \sum K Z(ITK, KRED) - E(ITK)$$

$$Inv \in \text{Programm} \quad Kred \in \text{Programm}$$
 Ist der Zahlungssaldo negativ, gehe nach (8). Sonst
- (6) nimm die erste, noch nicht gestrichene Investition auf der I-Liste probeweise in das Programm auf und berechne den Endwert des entstandenen Programms C_T nach dem System der allgemeinen Rechenregeln. Ist die I-Liste ab-

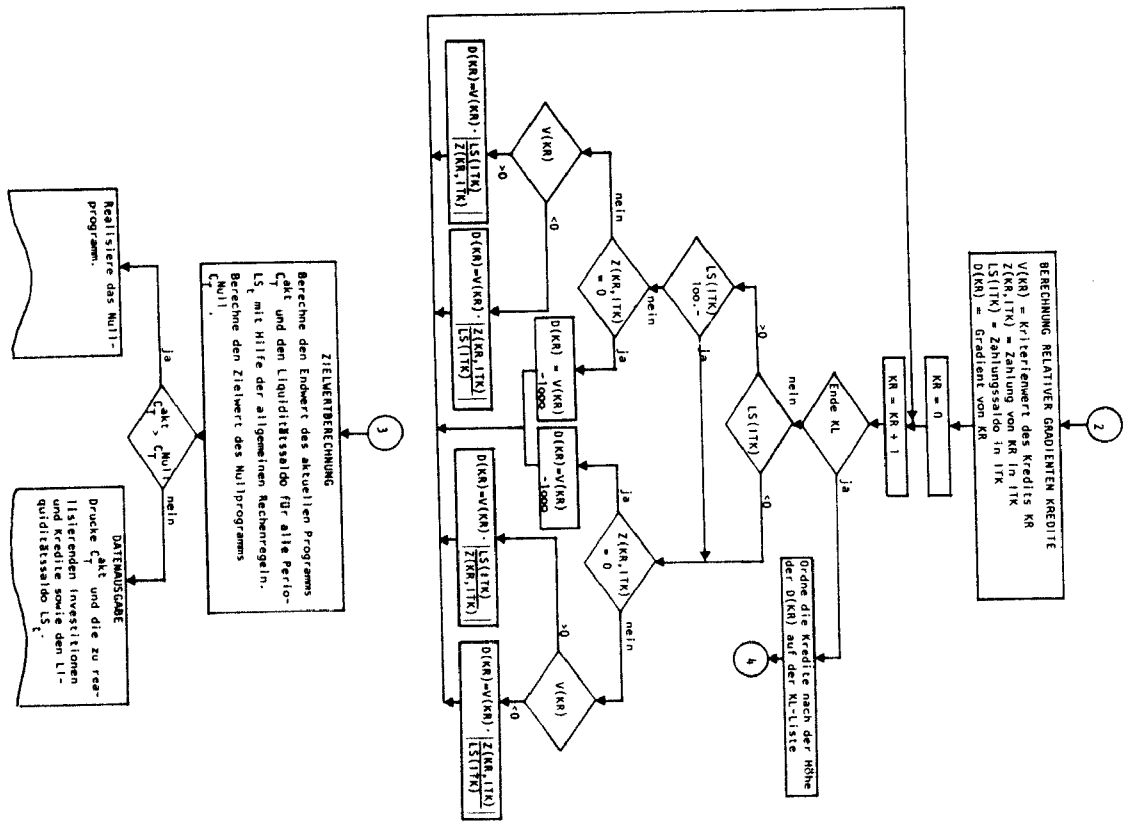
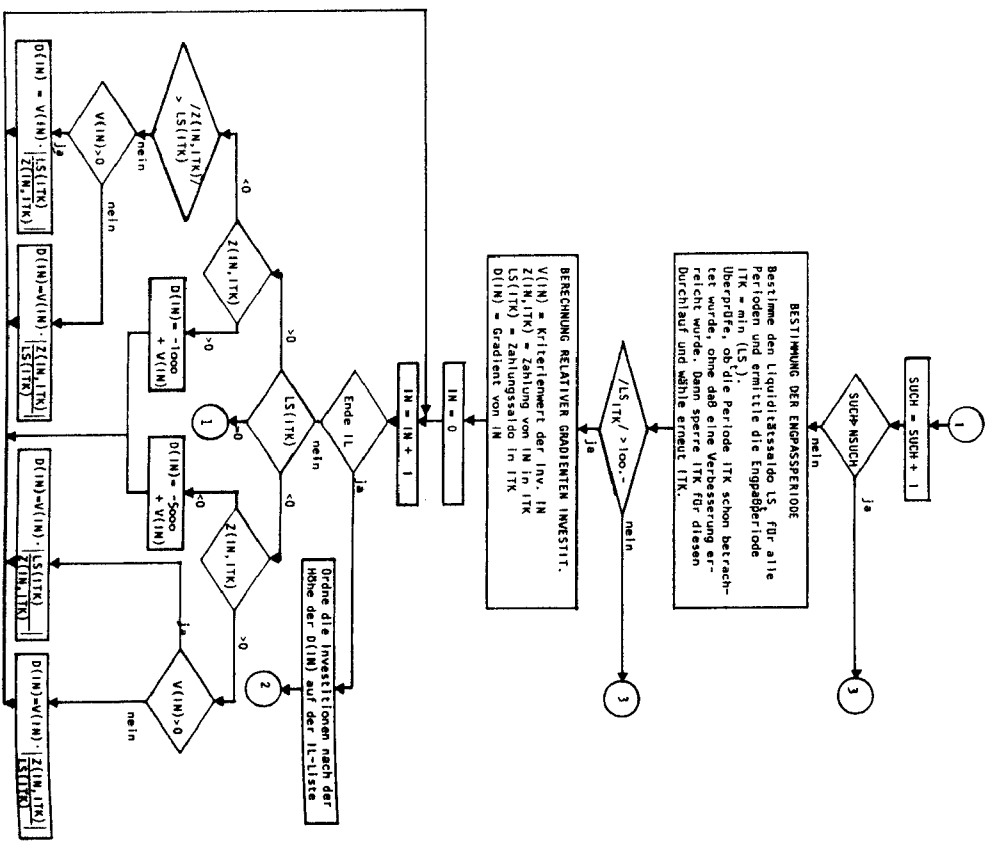


Abb. 77: Flußdiagramm des Eröffnungsverfahrens SPIEL 3

(11) Mache das gebildete Programm durch Ergänzungsinvestitionen beziehungsweise -kredite zulässig und berechne den Endwert. Prüfe, ob $C_T^{Null} < C_T$. Ist das nicht der Fall, verzichte auf Investitionen und Kredite und lege das Startvermögen am Kapitalmarkt an.

Da SPIEL 3 im Ablauf weitgehend SPIEL 2 entspricht, den Lösungsprozess aber mit wechselnden "kritischen Perioden" mehrmals wiederholt, sind im Vergleich zu SPIEL 2 sowohl bessere Problemlösungen wie auch erhöhte Rechenzeiten zu erwarten.

7.5. Beschreibung der entwickelten Verbesserungsverfahren

7.5.1. Allgemeiner Aufbau

Um die Leistungsfähigkeit des Verbesserungskonzepts¹⁾ für Investitionsprogrammplanungsprobleme einzuschätzen, wurden einige einfache Iterationsverfahren für die beschriebene Problemstellung entwickelt. Iterations- oder auch Verbesserungsverfahren setzen an einer bereits erreichten Problemlösung an und versuchen diese durch Anwendung entsprechender Operatoren zu verbessern. 2) Die Güte der Verfahren hängt damit ab von den Eigenschaften der Ausgangslösung und der Selektionswirkung der Verbesserungsoperatoren.

1) Vgl. Abschnitt 6.3.2.2.

2) Vgl. Abschnitt 6.3.4.3. und Müller-Merbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 82 sowie Meißner, J.-D.; Heuristische Programmierung, a.a.O., S. 92

Es ist die Aufgabe der Verbesserungsoperatoren, die Elemente herauszufinden, die bisher noch nicht in die Lösung aufgenommen wurden, aber geeignet erscheinen, diese zu verbessern beziehungsweise die Lösungselemente zu selektieren, deren Ausschluß eine Lösungsverbesserung verspricht. Die grundsätzlichen Möglichkeiten zur Konstruktion einer Nachbarschaft (Hinzunahme, Ausschluß oder Tausch von Planelementen)¹⁾ sind zwar bekannt, doch bestehen aufgrund der kombinatorischen Struktur von Investitionsprogrammplanungsmodellen so viele Freiheitsgrade, daß durch problemindividuelle Überlegungen die Anzahl der Verbesserungsoperationen begrenzt werden muß. Diese Überlegungen beziehen sich

(1) auf die Eigenschaften der zu betrachtenden Planelemente;

(2) auf die Anzahl der Planelemente, die in eine Verbesserungsoperation einbezogen werden sollen.

Durch Analyse der von den Eröffnungsverfahren abgeleiteten Investitions- und Finanzierungsprogramme und der Unterschiede zu den Optimalprogrammen wurden folgende Sachverhalte festgestellt:

(1) In den weitaus meisten der analysierten Fälle unterschied sich die Lösung der Heuristik von der des Algorithmus nur dadurch, daß sie weniger, nicht aber grundsätzlich andere Projekte enthielt.

(2) In den Fällen, in denen sich die Lösung der Heuristik aus Projekten zusammensetzte, die in der Optimallösung nicht enthalten waren, wären zum Austausch der "richti-

1) Vgl. Abb. 55 und Müller-Merbach, H.; Morphologie heuristischer Verfahren, a.a.O., S. 84

gen" gegen die "falschen" Projekte sehr komplizierte und von Problem zu Problem stark variiierende Tauscherationen erforderlich. Offensichtlich versagte in diesen Fällen die Abarbeitungsreihenfolge nach Maßgabe eines finanziellen Vorteilmaßstabes.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde die Implementierung eines bereits entwickelten und programmierten Verbesserungsverfahrens ITER 3 nicht weiter verfolgt. Dieses Verfahren baute auf Grundgedanken von Petersen ¹⁾ auf und enthielt eine große Reihe von durchzuführenden Tauschoperationen, die sehr rechenaufwendig waren. ²⁾ Da dieses Verfahren starr organisiert war, also die besten, nicht enthaltenen Projekte gegen die schlechtesten, im Programm enthaltenen Investitions- und Finanzierungsmaßnahmen ausgetauscht wurden und zur Feststellung der Güte von Planellementen wiederum auf (modifizierter) finanzielle Vorteilskriterien zurückgegriffen wurde, erschien die Implementierung eines solchen Verfahrens nicht erfolgversprechend.

Implementiert und daher im folgenden beschrieben wurden nur zwei Verbesserungsverfahren, die versuchen, die Lösung der Heuristik durch die Hinzunahme weiterer Investitions- und Finanzierungsprojekte zu verbessern.

Beide Iterationsverfahren sind im organisatorischen Ablauf gleich aufgebaut. Es wird jeweils versucht, die beste Lösung des Eröffnungsverfahrens durch Hinzunahme entweder von In-

1) Petersen, C.C.; A Capital Budgeting Heuristic Algorithm Using Exchange Operations, a.a.O.

2) Schon das Verfahren von Petersen ist für die einfache Problemstellung recht komplex, obwohl es maximal den Austausch von 3 Planellementen vorsieht, durch Dominanzüberlegungen die Zahl der Tauschoperationen beschränkt und bei Tests selten erfolgreiche Tauschoperationen eliminiert.

vestitionen oder von Krediten zu verbessern. Eine etwaige Verbesserung wird sofort realisiert. Der Iterationsprozess wird dann abgebrochen, wenn entweder keine Verbesserungs-möglichkeit mehr gefunden wird oder die Anzahl der erfolglosen Suchschritte eine vorgegebene Schranke überschreitet. ¹⁾

Die Verbesserungsverfahren verwenden jeweils eine Liste der vom Eröffnungsverfahren bereits aufgenommenen Investitionen beziehungsweise Kredite und eine Liste der dort noch nicht in das Programm aufgenommenen Projekte. Die 4 Listen werden von den Eröffnungsverfahren zur Verfügung gestellt. Die Verbesserungsverfahren ordnen im ersten Schritt die Projekte in diesen Listen nach der Höhe des jeweiligen finanzwirtschaftlichen Kriterienwertes.

7.5.2. Verbesserungsverfahren ITER-1

Das Verbesserungsverfahren ITER 1 versucht, die im Ursprungsprogramm realisierten Ergänzungskredite beziehungsweise Ergänzungsinvestitionen durch Projektkredite beziehungsweise Projektinvestitionen zu ersetzen, um den Zielfunktionswert des Investitionsprogramms zu erhöhen.

Beginnend in Periode 1 ermittelt das Verfahren den Zahlungssaldo (und damit den Umfang der erforderlichen Ergänzungsmahnahmen) für alle Planperioden und versucht, bei negativem Saldo weitere Kredite, bei positivem Saldo weitere Investitionen zu tätigen. Jede Nachbarschaftslösung wird mit Hilfe der allgemeinen Rechenregeln bezüglich ihres Endwertes bewertet und dann als Ausgangslösung für weitere Iterationsschritte genommen, wenn der Zielfunktionswert des neuen

1) Die Güte beider Verfahren ist somit abhängig von der Größe dieser vorgegebenen Suchschrittbegrenzung.

Dieser numerisch-statistische Weg¹⁾ zur Beurteilung von Investitionsplanungsmethoden wird in der Investitionstheorie nur selten beschritten²⁾, ist hingegen zur Beurteilung von heuristischen Lösungsverfahren in der Unternehmensforschung üblich.³⁾ Die Investitionstheorie versucht hingegen auf logisch-analytischem Wege¹⁾ die von ihr empfohlenen Verfahren zu beurteilen. Durch mathematische und ökonomische Überlegungen wird so etwa versucht zu prüfen, ob bestimmte finanzwirtschaftliche Vorteilmaßstäbe in der Lage sind, Rangfolgen von Investitionsprojekten zu erzeugen, die dem Ziel des Investors entsprechen. Ein Beispiel für diese Vorgehensweise ist die Diskussion um den Internen Zinsfuß und alternative Verzinsungsmaße.⁴⁾

- 1) Zu dem Begriffen vgl. Kruschwitz, L./Fischer, J.; Die Planung des Kapitalbudgets mit Hilfe von Kapitalnachfrage- und Kapitalangebotskurven, ZFBF 32. Jg. (1980), S. 393-418, hier: S. 401 ff.
- 2) Vgl. Kruschwitz, L.; Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O., sowie Petersen, C.C.; A Capital Budgeting Heuristic Algorithm Using Exchange Operations, a.a.O.
- 3) Vgl. für viele Zitate St.H.; Heuristic 0-1 Linear Programming: An Experimental Comparison of three Methods, a.a.O. und Wynn, F.P.; Binary programming: A decision rule for selecting optimal vs heuristic techniques, a.a.O.
- 4) Vgl. zu dieser Diskussion etwa Kosterbach, E.; Einige kritische Bemerkungen zur Kapitalwertmethode, in: ZFB 40. Jg. (1970), S. 613-620; Haberstock, L.; Einige kritische Bemerkungen zur Kapitalwertmethode - Stellungnahme zu dem gleichnamigen Aufsatz von E. Kosterbach, in: ZFB 41. Jg. (1971), S. 285-288; Kosterbach, E.; Kapitalwert oder Interner Zinsfuß? Gleichzeitig eine Begrüßung an Dr. L. Haberstock, in: ZFB 42. Jg. (1972), S. 201-216; Haberstock, L.; Kapitalwert oder Interner Zinsfuß? Stellungnahme zu dem Aufsatz von E. Kosterbach, in: ZFB 42. Jg. (1972), S. 216-218 und Kosterbach, E.; Noch einmal: "Kapitalwert oder Interner Zinsfuß?" Ein Schlusswort, in: ZFB 42. Jg. (1977), S. 376-377
Vgl. auch Meyer, H.; Zur allgemeinen Theorie der Investitionsrechnung, Disseldorf 1977 und die dort angegebenen Aufsätze des Verfassers in verschiedenen Zeitschriften sowie Kruschwitz, L.; Kapitalwert oder Interner Zinsfuß - Stellungnahme zu einigen Investitionstheoretischen Arbeiten von H. Meyer, in: DB 30. Jg. (1977), S. 1061-1063 und Buchner, R./Weinreich, J.; Zur Frage des rechen-technischen Problems der Mehrdeutigkeit des internen Zinsfußes - Stellungnahme zum Vorschlag von H. Meyer zur Behebung der Mehrdeutigkeit des internen Zinsfußes, in: ZFBF 31. Jg. (1979), S. 128-136

Zur Beurteilung heuristischer Methoden eignet sich diese Vorgehensweise nur bedingt und zwar aus mehreren Gründen:

- (1) Der logisch-analytische Weg versucht die Optimalität beziehungsweise Nicht-Optimalität bestimmter Entscheidungskriterien nachzuweisen und muß daher bei der Beurteilung von Verfahren versagen, die wie Heuristiken bewußt auf die Optimalitätsgarantie verzichten.
- (2) Der Aufbau von heuristischen Lösungsverfahren, die sich aus mehreren ergänzenden Verfahrenselementen zusammensetzen, ist in der Regel zu komplex für eine logisch-analytische Beurteilung.
- (3) Wie oben ausgeführt wurde¹⁾, sollte die Beurteilung von Heuristiken sowohl Gesichtspunkte der Lösungs- wie auch der Ressourcenmächtigkeit umfassen. Insbesondere Aussagen über den Ressourcenbedarf einer Lösungsmethode lassen sich auf analytischem Wege nur schwer gewinnen.²⁾

Die numerisch-statistische Vorgehensweise bei der Verfahrensevaluation setzt eine grobe Anzahl³⁾ realer oder realitätsnaher Problemstellungen voraus, auf die die zu beurteilenden Methoden angewendet werden.⁴⁾ Zu diesem Zweck wurde ein Datengenerator entwickelt und auf einem Computer implementiert,¹⁾

- 1) Vgl. Abschnitt 6.3.4.2.2.
- 2) Vgl. allerdings den Vorschlag von Prohl, H./Habel, R.; Bewertung heuristischer Methoden, unveröffentlichtes Manuskript Essen 1979, S. 5 ff. zur analytischen Abschätzung des Ressourcenbedarfs.
- 3) Zum notwendigen Stichprobenumfang vgl. Abschnitt 6.3.4.2.3.
- 4) Vgl. ebendort

Ablauf des Heuristiktest

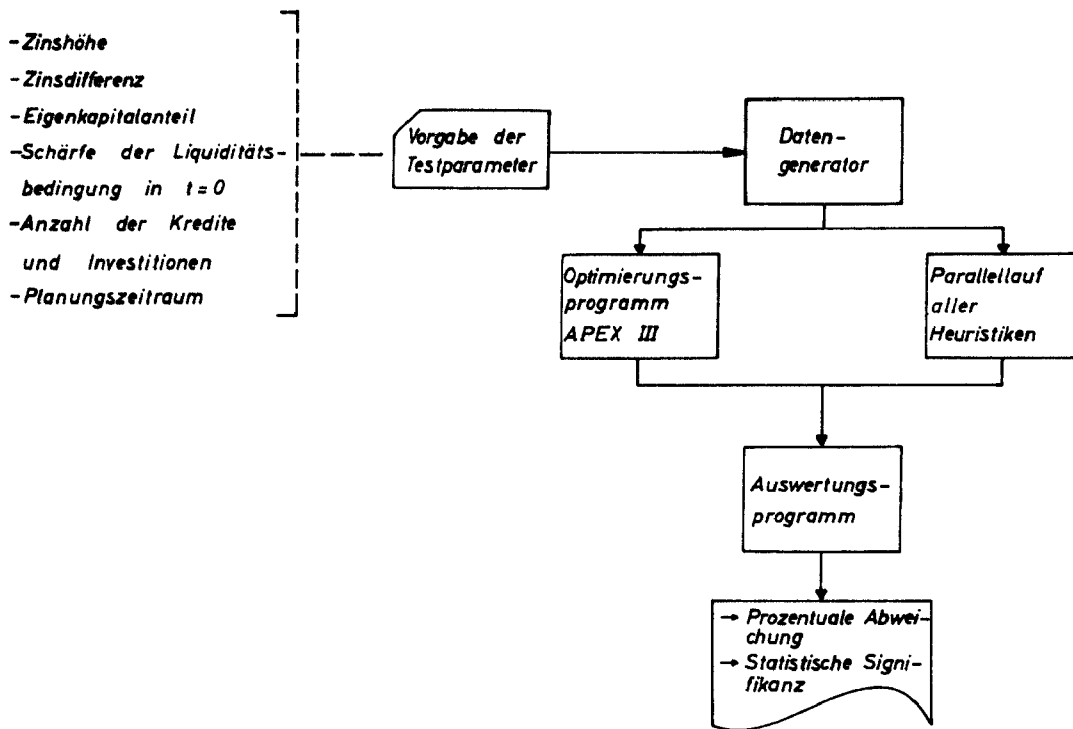


Abb. 80 : Ablauf des Heuristiktests

der nach Auffassung des Verfassers in der Lage ist, plausible und realitätsnahe Testprobleme zu erzeugen. Diese Testprobleme wurden sowohl mit den zu beurteilenden Heuristiken wie auch mit einem Optimierungsprogramm gelöst. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe statistischer Kennzahlen und Methoden ausgewertet. Einen Überblick über den Ablauf des Heuristiktestes gibt Abbildung 80 .

7.6.2. Beschreibung des Datengenerators

Der Datengenerator besteht aus einer Reihe von eindeutigen Vorschriften, die in der Lage sind, mit Hilfe gleichverteilter Zufallszahlen Testprobleme des gewünschten Typs (vgl. Abschnitt 7.2.) und der gewünschten Struktur zu erzeugen.

Die formale und materielle Struktur der erzeugten Probleme¹⁾ wird festgelegt durch eine Anzahl exogen vorgegebener "Testparameter", von denen zu vermuten ist,²⁾ daß sie Einfluß auf die Güte von Lösungsverfahren haben. Diese Parameter sind:

- (1) die Anzahl der Variablen, hier bestimmt durch die Anzahl der Investitions- und Finanzierungsprojekte;
- (2) die Anzahl der Restriktionen, hier im wesentlichen die Anzahl der Liquiditätsrestriktionen, die durch die Länge des Planungszeitraums festgelegt wird;

1) Vgl. dazu Abschnitt 6.3.4.2.3.

2) Vgl. zu den formalen Faktoren (Anzahl der Variablen, Anzahl der Restriktionen, Schärfe der Nebenbedingungen) Wyman, F.P.: Binary programming: A decision rule for selecting optimal vs heuristic techniques, a.a.O. und Suhl, U.: Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung von 0-1-Programmen mit nicht-negativen Koeffizienten, a.a.O.

Bezeichnung	Symbol	Mögliche Ausprägungen	Untersuchte Ausprägungen
Anzahl d. Investitionen	n	1 - 100	40, 100
Anzahl d. Finanzierungsplanungszeitraum	m	1 - 50	20, 50
Schärfe d. Liquiditätsbedingung	a	0,1 - 1,0	0,3; 0,6
Höhe der Sollzinsen	h	1% - 9%	5%, 10%
Höhe der Sollzinsen	s	1% - 9%	10%, 15%, 20%, 25%
Differenz zwischen Soll- und Sollzinsverteilung der Startzeitpunkte der Projekte	β	durch s und h bestimmt bzw. zufällig im Intervall (s-h) schwankend	durch s und h bestimmt
Anzahl der Investitionszahlungen	a	t_0/t_n	
Anzahl der Vorzeichenwechsel bei Investitionsprojekten	W	Die Anzahl der Auszahlungen wird nach Häufigkeit von Vorzeichenwahrscheinlichkeiten MS1, MS2, MS3 zwischen 1 und 3 Auszahlungen zufällig bestimmt. Bei W = 0 erfolgen alle Auszahlungen zum zeitlichen Beginn des Projektes; bei W = 1 liegen sie im Intervall zwischen dem Projektstartzeitpunkt und dem Projektende. Die Kreditteilungen wurden nach Häufigkeit von Vorzeichenwahrscheinlichkeiten MS1, MS2, MS3 zufällig bestimmt.	MS1 = 0,6 MS2 = 0,2 MS3 = 0,2
Tilgungsstruktur bei Krediten	r	$s + (e - h)$	MS1 = 0,4 MS2 = 0,4 MS3 = 0,2
Maximalrendite der Investitionen	r _K	0% - 9%	30%, 60%
Maximalzinsen der Kredite	Y	Y = 1 zufällig schwankend Y = 2 fester Prozentsatz (s+h/2) vom Eigenkapital	Y = 2

Tab.16 : Exogene Testparameter und mögliche sowie untersuchte Ausprägungen

- (3) die Schärfe der Nebenbedingungen, die bestimmt wird durch das Verhältnis der Zahlungen der Investitions- und Finanzierungsalternativen zueinander unter Berücksichtigung des Vermögens und der Entnahme des Investors;
- (4) die Form des Kapitalmarkts, auf dem der Investor agiert; hier festgelegt durch die Höhe der Soll- und Habenzinsen in den einzelnen Perioden;
- (5) die zeitliche Verteilung der Startzeitpunkte der Projekte während des Planungszeitraums, also die Länge des Planungshorizontes; 1)
- (6) die Form der Zahlungen der Projekte, insbesondere die Häufigkeit von Vorzeichenwechseln bei den Investitionen und die Tilgungsstruktur bei den Krediten;
- (7) die Renditestruktur bei den Investitionen beziehungsweise die Kreditkostenstruktur;
- (8) die Höhe des Startkapitals des Investors und der in den einzelnen Perioden gewünschten Entnahmen.

Tabelle 16 stellt die im Testdatengenerator möglichen beziehungsweise untersuchten Ausprägungen dieser exogenen Testparameter zusammen. Die Kombination unterschiedlicher Werte der Testparameter (im folgenden Testkombination genannt) veranlaßt den Testdatengenerator zur Erzeugung von Problemen unterschiedlicher Struktur. Es ist so möglich, die heuristischen Entscheidungstechniken systematisch auf Probleme mit unterschiedlichen Eigenschaften anzuwenden und differenzierte Qualitätsurteile zu ermitteln.

1) Vgl. zum Begriff Abschnitt 2.2.2.5.

Variable	Symbol	Erzeugungsregeln
A. Zufallszahl	u	$0 < u < 1$ und gleichverteilt
B. Projektinvestitionen		
1. Startzeitpunkt	t_0^I	$t_0^I = 0$ bzw. $t_0^I = \begin{cases} 0, & \text{wenn } u < 0,3 \\ 1, & \text{wenn } u \leq 0,3 \\ 2, & \text{wenn } 0,3 < u \leq 0,6 \\ 3, & \text{wenn } 0,6 < u < 0,9 \end{cases}$ gleichverteilt zwischen 0 bis T, wenn $u \geq 0,3$
2. Gesamtzahl der Auszahlungen	n	$a = \begin{cases} 1, & \text{wenn } u \leq 0,3 \\ 2, & \text{wenn } 0,3 < u \leq 0,6 \\ 3, & \text{wenn } 0,6 < u < 0,9 \end{cases}$
3. Gesamtzahl der Zahlungen	k	$k = (n+1) + (n+1) - t_0^I - a \cdot u$
4. Größe der Gesamtanzahlungen	Z_1^I	$Z_1^I = - (100+4900 \cdot u)$
5. Verteilung der Auszahlungen	Z_0^I, Z_1^I, Z_2^I	$Z_0^I = \begin{cases} -T_1^I & \text{wenn } a=1 \\ (0,2+0,8 \cdot u) Z_1^I & \text{wenn } a=2 \\ (0,2+0,8 \cdot u) Z_1^I + 0,1 & \text{wenn } a=3 \end{cases}$ wobei immer gilt $Z_1^I, Z_2^I \geq 20, \dots$
6. Größe der Gesamtanzahlungen	Z^*	$Z^* = -z^* \cdot (1+(k-a) \cdot z^*)^u$, wobei z^I = vorgegebene Maximalrate für Investitionsprojekte $Z_1^I = \frac{z^I}{(k-a)}$, $(0,5+u)$ und $z^* = \sqrt[k-a]{z^I}$
7. Größe der Einzelanzahlungen		$Z_0^I = \frac{z^I}{(k-a)} \cdot (0,5+u)$, wobei immer gilt $z^I > 10, \dots$ für $1=2, \dots, k-n$
B. zeitliche Verteilung der Einzahlungen		zufällig nach Maßgabe der u im Intervall $\begin{cases} 1, \dots, k, & \text{wenn } n=1 \\ 2, \dots, k, & \text{wenn } n=2 \\ 1, \dots, k, & \text{wenn } n=3 \end{cases}$
C. Zinsstruktur		
1. Habenzinsen	h	$h = \max(h_1, h_2, h_3)$, wobei $h_j = h \cdot u$ und $h =$ extern vorgegebene Maximal-Habenzinsen
2. Sollzinsen (wenn nicht extern vorgegeben)	s	$s = h + \beta$ und immer gilt $s > z^k > z^I > h$ wobei $\beta =$ extern vorgegebene Zinsdifferenz $z^k =$ extern vorgegebene Maximal-Kreditzinsen
D. Kreditsätze		
1. Startzeitpunkt	t_0^K	$t_0^K = 0$ bzw. $t_0^K = \begin{cases} 0, & \text{wenn } u < 0,3 \\ 1, & \text{wenn } 0,3 < u < 0,6 \\ 2, & \text{wenn } 0,6 < u < 0,9 \end{cases}$ gleichverteilt im Intervall 0 bis T, wenn $u \geq 0,3$
2. Kreditlaufzeit	1	$1 = T \cdot u + 1$
3. Tilgungswert		ermittelt sich nach Tilgungsfreie Jahre, wenn $u \leq 0,3$ = arithmetisch mit m, durch u zufällig bestimmt, tilgungsfreien Jahren, wenn $0,3 < u \leq 0,6$ Tilgung und Zinszahlung zum Ende der Kreditlaufzeit, wenn $0,6 < u \leq 0,9$
4. Kredithöhe	K^*	$K^* = 100 + 4900 \cdot u$
5. Kreditanzahlungen (Tilgung + Zinsen)	Z_1^K	$Z_1^K = -t_0^K \cdot (1+(1-h) \cdot (t^k - h) \cdot u)$
6. Verteilung der Kreditanzahlungen		nach Maßgabe der Tilgungswert
E. Startkapital und Zinseszinsen		
1. Startkapital	H	$H = Y \cdot \frac{1}{1+0,1}$ wobei $Y =$ extern vorgegebener, relativer Eigenkapitalanteil
2. Periodenüberschüsse	Y_t	$Y_t = H \cdot (1+(1-h) \cdot u)$ bzw. $Y_t = 1$ bzw. $Y_t = \frac{Y \cdot K^*}{Z_1^K} \cdot M$
3. Sicherung der vorgegebenen Liquiditätsbedingungen		$L = \frac{1}{1+0,1} \cdot \frac{1}{1+0,1} + M$ und es gilt $Z_1^I = L \cdot z^k$ für alle Perioden und Kredite $L = \frac{1}{1+0,1} \cdot \frac{1}{1+0,1} + Y_0$ wobei $a =$ vorgegebene Soll-Schleife der Liquiditätsbedingung $L =$ errechneter Neutralisationsfaktor für alle Kreditanzahlungen

Tab. 17 : Erzeugungsregeln des Testdatengenerators

Die übrigen Regeln zur Erzeugung der Zahlungsreihen der Investitions- und Finanzierungsprojekte sowie der Entnahmen und des Startvermögens wurden während der Verfahrensevaluation nicht verändert. Sie sind in Tabelle zusammengestellt. 1) Tabelle 18 enthält beispielhaft die Zahlungsreihen von 20 Investitionen und 10 Krediten sowie das Startkapital und die Entnahmen, die durch den Datengenerator erzeugt wurden.

7.6.3. Aufbau der Experimente

Es ist aufgrund der sehr großen Anzahl möglicher Testkombinationen unmöglich, alle Ausprägungen der exogenen Testparameter auf ihren Einfluß auf die Qualität der verschiedenen Heuristiken zu untersuchen. Durch plausibel erscheinende Vorüberlegungen wurden daher die Wertebereiche der Testparameter eingegrenzt. So wurden etwa die Haben- und Sollzinsen nur in einem Bereich variiert, der für deutsche Verhältnisse als repräsentativ gelten kann. 2) Innerhalb der Wertebereiche konnten aus Gründen der Praktikabilität nur gewisse Ausprägungen der Testparameter untersucht werden (vergleiche Tabelle 16).

Durch solche Vorüberlegungen wurden Testfelder mit folgenden Anforderungen definiert:

- 1) Der Testdatengenerator wurde in FORTRAN programmiert. Da das gesamte Programmsystem sehr umfangreich ist, kann es an dieser Stelle nicht abgedruckt werden. Es steht Interessenten auf Anfrage jederzeit zur Verfügung.
- 2) Vgl. dazu die Monatsberichte der Deutschen Bundesbank; Statistischer Teil

Zeitpunkt 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Investitionen

1	-2317	207	368	220	615	516	600	375	302	0
2	-3173	-297	599	1380	689	513	1266	1347	1025	368
3	-2616	560	649	450	623	597	653	230	465	0
4	-3980	2370	1786	0	0	0	0	0	0	0
5	-537	-1214	-788	598	648	860	530	458	602	460
6	-3960	1650	1215	929	1026	625	1324	0	0	0
7	-1741	-186	752	545	412	586	632	584	196	0
8	-3595	-695	-46	2915	2640	0	0	0	0	0
9	-922	199	106	110	132	250	182	104	0	0
10	-2416	743	550	779	245	660	465	0	0	0
11	-1814	-133	-100	837	410	680	822	0	0	0
12	-3572	1081	1089	906	415	666	702	982	0	0
13	-1722	-24	-14	519	392	1081	651	0	788	360
14	-3300	368	604	863	1079	988	388	349	959	611
15	-4859	902	2177	919	1222	1587	2299	0	0	0
16	-502	-1023	356	507	513	297	0	0	0	0
17	-2119	-1220	-1345	573	1589	1333	1458	536	1198	0
18	-1347	358	236	659	335	0	0	0	0	0
19	-2973	630	759	752	338	921	745	568	351	0
20	-1295	835	554	0	0	0	0	0	0	0

Kredite

1	377	0	0	0	468	0	0	0	0	0
2	105	-26	-26	-26	-26	-26	-26	0	0	0
3	1101	-237	-237	-237	-237	-237	-237	0	0	0
4	3100	-387	-3437	0	0	0	0	-237	0	0
5	3120	-735	-735	-735	-735	-735	-735	0	0	0
6	3110	-237	-237	-237	-237	-237	-237	0	0	0
7	2239	-2549	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2249	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	456	0	0	0	0	0	-657	0	0	0
10	3306	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	0

Tab. 18 : Exemplarische Zahlungsreihen von 20 Investitionen und 10 Krediten (Planungszeitraum 9 Jahre, alle Projekte starten in t₀, einmaliger Vorzeichenwechsel bei den Investitions- zahlungsreihen)

(1) Plausibilität - Die Ausprägungen der Testparameter sollten den Eigenschaften realer Problemstellungen nicht widersprechen;

(2) Praktikabilität - Die Anzahl der Testfelder mußte technisch und ökonomisch beherrschbar bleiben¹⁾ und zudem noch eine sinnvolle Auswertung zulassen;²⁾

(3) Signifikanz - Die Qualität der Heuristiken sollte durch den Verfahrenstest "richtig" ermittelt werden und dem Entscheidungsträger die Wahl des für seine Problemstellung besten Verfahrens ermöglichen.

In jedem Testfeld wurde mit dem Datengenerator eine Stichprobe von 100 Problemen erzeugt, die dann durch die verschiedenen Heuristiken und durch ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsprogramm³⁾ gelöst wurden. Wie oben erläutert bestand eine Heuristik jeweils aus einem der 11 finanzwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe und einer Aufnahme-regel, gegebenenfalls ergänzt durch ein Verbesserungsverfahren. Wie aus Abbildung 80 ersichtlich ist, wurden jeweils alle Heuristiken parallel auf das zu lösende Problem angewendet.

Die Verfahrensevaluation beschränkte sich auf die Ermittlung der Lösungsqualität und der Rechenzeit (als Ausdruck

1) Jeder Testjob (für jeweils ein Testfeld) hatte eine Verweilzeit von 24 bis 48 Std. In dem benutzten Computer vom Typ CDC Cyber 175 des Wissenschaftlichen Rechenzentrums Berlin.
 2) Zu den Problemen der Auswertung vgl. Abschnitt 6.3.5.
 3) Verwendet wurde das Optimierungsprogramm APEX III der Fa. CDC, das auf dem Rechner Cyber 175 des Wissenschaftlichen Rechenzentrums Berlin implementiert ist.

der Ressourcennächtigkeit) der alternativen Lösungsverfahren. Als Maßstab für die Lösungsgüte wurde die prozentuale Abweichung der Zielfunktionswerte der i-ten Heuristik gegenüber dem Zielwert der Optimallösung im j-ten Experiment ermittelt als: ¹⁾

$$\Delta_{ij} = \frac{C_{Tj}^{Opt} - C_{Tj}^{i}}{C_{Tj}^{Opt} - C_{Tj}^{Null}} \quad 100 \quad (\%)$$

Es bedeuten: C_{Tj}^{Opt} = Zielfunktionswert (Endvermögen) bei Anwendung des Optimierungsverfahrens ²⁾

C_{Tj}^i = Zielfunktionswert bei Anwendung der i-ten Heuristik

C_{Tj}^{Null} = Zielfunktionswert (Endvermögen) bei Realisierung des Nullprogramms.

- Das Nullprogramm ist die Lösung, bei der kein einziges Investitions- und Finanzierungsprojekt durchgeführt wird und sich das Endvermögen durch Anlage des Startvermögens M_0 am Kapitalmarkt geschmälert um die vom Investor gewünschten Entnahmen ergibt. ³⁾ Es handelt sich somit um eine "reale Standardalternative" ⁴⁾, also eine Handlungsalternative, die
- 1) Die Optimierung mit APEX III wurde nach einem programminternen Abbruchkriterium zur Senkung der Rechenzeit so gesteuert, daß die gefundenen Lösungsganzahlige Lösung niemals mehr als 10 % von der bestmöglichen Lösung entfernt ist. Nach Versuchen des Verfassers wird diese theoretische Maximalabweichung quasi nie erreicht, reduziert aber die benötigte Rechenzeit um den Faktor 10. Vgl. CDC-Corporation; APEX III Reference Manual, Version 1.1., Minneapolis 1977, S. 7-5 ff.
 - 2) Vgl. zu diesem Maßstab Kruschwitz, L.; Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O., S. 218
 - 3) Vgl. Kruschwitz, L.; Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, a.a.O., S. 212 und derselbe; Investitionsrechnung, a.a.O., S. 60 ff.
 - 4) Vgl. zum Begriff und der entscheidungstheoretischen Notwendigkeit einer Standardalternative Biltz, M.; Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 73 ff.

für den Investor realisierbar ist und eine zulässige Lösung des Entscheidungsproblems darstellt.

Für alle Experimente eines Testfeldes wurden die Δ_{ij} klassifiziert und der Mittelwert \bar{x} sowie die Varianz s^2 ermittelt. Abschließend wurde mit einem parameterfreien Prüfverfahren für verbundene Stichproben überprüft, ob

- zwei Aufnahmeregeln bei gleichem finanzwirtschaftlichem Vorteilskriterium

- zwei Vorteilskriterien bei gleicher Aufnahmeregel eine signifikant bessere Lösungsqualität erzielen. Verwendet wurde der Rangsummentest von Wilcoxon. ¹⁾

Als zweite Qualitätsdimension der untersuchten heuristischen Lösungsverfahren wurden die jeweiligen Rechenzeiten erfaßt. Die benötigten CPU-Sekunden ²⁾ wurden jeweils nach Durchlauf eines heuristischen Lösungsverfahrens vom Computer erfragt. Allerdings ergaben sich dabei durch den parallelen Test aller Heuristiken Schwierigkeiten, die unter anderem daraus resultierten, daß die finanziellen Vorteilskriterien und die Abarbeitungsreihenfolge für alle Aufnahmeregeln jeweils nur einmal ermittelt wurden. Tabelle 19 stellt die verwendeten Zeitmaßstäbe zusammen. Durch diese Parallelorganisation des Tests sind die Rechenzeiten zwar untereinander vergleichbar,

- 1) Vgl. für viele Weber, E.; Grundriß der biologischen Statistik, a.a.O., S. 528 ff.
- 2) CPU = Central Processor Unit = Zentralreineinheit der Rechneranlage

Bezeichnung	Definition
ZVOR	Zeit zur Organisation des Testlaufs einschließlich Vorbesetzung aller Felder
ZKRIT	Zeit zur Berechnung der finanziellen Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe
ZRANG	Zeit zur Bestimmung der Abarbeitungsreihenfolge
ZSP 1	Zeitbedarf für Aufnahmeregel SPIEL 1
ZSP 2	Zeitbedarf für Aufnahmeregel SPIEL 2
ZSP 3	Zeitbedarf für Aufnahmeregel SPIEL 3
ZDEAN 1	Zeitbedarf für Aufnahmeregel DEAN 1 einschließlich der Modifizierung der Vorkriterien und der Abarbeitungsreihenfolge
ZDEAN 2	Zeitbedarf für Aufnahmeregel DEAN 2

Tabelle 19 : Bei der Verfahrensevaluation verwendete Zeitmaßstäbe

nicht jedoch mit Rechenzeiten, die bei Tests von Heuristiken in der Literatur publiziert wurden.
 Wie oben erwähnt, sind die Rechenzeiten allgemein sehr stark abhängig von den Eigenschaften der verwendeten Rechenanlage und denen des Programmierers. Tabelle 20 stellt die wichtigsten Merkmale der verwendeten Rechenanlage zusammen.

Fabrikat	: Control Data Corporation
Typ	: Cyber 175
Central Memory	: 131 KB MOS zusätzlich 126 KB externen Massenspeicher (ECS)
Betriebssystem	: NOS / BE Level 508
Peripherie	: 7 Plattenlaufwerke a 200 Mio Byte 4 Bandlaufwerke

Tabelle 20: Kennzeichen der verwendeten Rechenanlage

Alle Programme wurden vom Verfasser in FORTRAN programmiert. Dabei wurde weniger auf Reduktion des Zeit- und Speicherplatzbedarfs als auf Übersichtlichkeit der Programme geachtet. Die Eigenschaften der verwendeten Compiler FTN (Opt = 2) und MNP wurden nicht gezielt ausgenutzt.

7.6.4. Ergebnisse der Verfahrensevaluation

7.6.4.1. Überblick über die Testfelder für die Evaluation der Eröffnungsverfahren

Durch systematische Variation der exogenen Testparameter wurden insgesamt 39 Testfelder definiert, auf die die verschiedenen Heuristiken angewendet wurden.

Diese Testfelder lassen sich aus der Sicht der Investitionstheorie fünf größeren Bereichen zuordnen:

Im Testbereich 1 begannen die Zahlungsreihen aller Investitions- und Finanzierungsprojekte im Zeitpunkt $t=0$; der Planungshorizont umfaßte somit genau eine Periode. Falls von den Vorteilskriterien ein Kalkulationszinsfuß benötigt wurde, so wurde dieser als arithmetisches Mittel zwischen Haben- und Sollzinsfuß angenommen. Außerdem war dieser Testbereich 1 dadurch charakterisiert, daß die Zahlungsreihen der Investitionsprojekte nur einen Vorzeichenwechsel hatten, der interne Zinsfuß somit eindeutig war. ¹⁾

Testbereich 2 unterschied sich von Testbereich 1 nur dadurch, daß der Testdatengenerator so gesteuert wurde, daß Investitionen mit mehrmaligem Vorzeichenwechsel in der Zahlungsreihe erzeugt wurde und somit der interne Zinsfuß einer besonderen Belastung ausgesetzt wurde.

Auch Testbereich 3 entsprach weitgehend dem Bereich 1, allerdings wurde der Kalkulationszinsfuß nicht mehr als arithmetisches Mittel zwischen Soll- und Habenzins errechnet,

1) Vgl. dazu Kilger, W.: Zur Kritik am internen Zinsfuß, in: ZFB 35. Jg. (1965), S. 338-353; Kruschwitz, L.: Der interne Zinsfuß bei identischen Investitionsketten, in: ZFB 45. Jg. (1975), S. 205-207; Witten, P./Zimmermann, H.G.: Zur Eindeutigkeit des internen Zinsfußes und seiner numerischen Bestimmung, in: ZFB 47. Jg. (1977), S. 99-114

sondern es wurden die endogenen Zinssätze aus der kontinuierlichen Optimallösung des jeweiligen Testproblems verwendet. ¹⁾ Dazu wurde der Testablauf so verändert, daß das Optimierungsprogramm zunächst das kontinuierliche Optimum berechnete und aus den Dualwerten dann die endogenen Kalkulationszinsfüße für alle Perioden berechnet wurden. Erst danach wurden dann die gemischt-ganzzahligen Optimallösungen der Testprobleme ermittelt und mit den Heuristiklösungen verglichen.

Testbereich 4 bezog im Unterschied zu den ersten drei Bereichen auch Investitions- und Finanzierungsprojekte in die Planung mit ein, die erst in späteren Perioden beginnen. "Sämtliche Reinvestitionsmöglichkeiten innerhalb des Planungszeitraums werden also berücksichtigt," ²⁾ Projekte mit alternierenden Vorzeichen wurden vom Testdatengenerator nicht erzeugt, der Kalkulationszinsfuß entsprach immer $(\frac{s+h}{2})$.

Testbereich 5 bezog ebenfalls künftige Handlungsalternativen in die heutige Planung mit ein, verwendete im Unterschied zum vierten Bereich jedoch die endogenen Kalkulationszinsfüße. Damit wurde unterstellt, daß neben den heute bereits bekannten Projekten zu späterer Zeit noch weitere Alternativen entstehen.

1) Vgl. dazu Abschnitt 6.3.3.2.

2) Hax, H.: Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, a.a.O., S. 435

7.6.4.2. Testbereich 1: Alle Projekte beginnen in $t = 0$, ein Vorzeichenwechsel der Zahlungsreihe, Kalkulationszinsfuß entspricht dem arithmetischen Mittel aus Soll- und Habenzinsfuß

Der Testbereich 1 bestand aus 18 Testfeldern, die sich aus der vollständigen Kombination aller in Tabelle 21 zusammengestellten Ausprägungen der exogenen Testparameter ergeben. Wie aus Tabelle 21 ersichtlich ist, wurden die Problemgröße, die Zinsdifferenz und die Länge des Planungszeitraums variiert, während der Eigenkapitalanteil, die Schärfe der Liquiditätsbedingungen und die Anzahl der Investitionsauszahlungen sowie die Tilgungsstruktur der Kredite in diesem Testbereich konstant gehalten wurden. ¹⁾ In jedem Testfeld wurden 100 Probleme erzeugt und durch die alternativen Eröffnungsverfahren gelöst.

Die Ergebnisse dieses Testbereichs lassen sich bezüglich der Eröffnungsverfahren in folgenden Aussagen zusammenfassen:

(1) Die Eröffnungsverfahren DEAN 1 und DEAN 2 erbrachten in jedem der durchgeführten Verfahrenstests identische Ergebnisse. Ein Austausch von Ergänzungsmaßnahmen gegen Investitions- und Finanzierungsprojekte war somit in keinem Fall profitabel. Verringert man jedoch die Anzahl der Investitions- und Finanzierungsalternativen, so ergeben sich bei einzelnen Problemen durchaus Unterschiede zugunsten von DEAN 2. Diese werden erwartungsgemäß größer, wenn der Abstand zwischen Soll- und Habenzins zunimmt.

1) Vgl. die Erläuterung der exogenen Testparameter in Abschnitt 7.6.2.

Problemgröße	Abstand zwischen Soll- und Habenzins	Länge des Planungszeitraums	Eigenkapitalanteil	Liquiditätsschärfe	WS für zwei/drei Auszahl.	Tilgungsstruktur
100 Investitionen u. 50 Kredite	5%	5 Jahre	30%	60%	WS1 = 60%	TWS1 = 33%
	10%	7 Jahre			WS2 = 20%	TWS2 = 34%
40 Investitionen u.	20%	9 Jahre			WS3 = 20%	TWS3 = 33%

Tab.21 : Unterauchte Ausprägungen der exogenen Testparameter im Testbereich 1

(2) Die Heuristiken DEAN 2 und DEAN 2 erzielten in Kombination mit finanziellen Nutzenkriterien sehr schlechte Ergebnisse. So nimmt beispielsweise die durchschnittliche Abweichung von der Optimallösung bei einem Problem aus 100 Investitionsalternativen und 50 Finanzierungsprojekten (Zinsdifferenz 10 %, Planungszeitraum 9 Jahre) folgende Werte an:¹⁾

	BKRATE	BRENTA	VWRATE	FWRATE
Δ_1	33,36 %	33,51 %	19,17 %	37,60 %

Die vorgeschlagene Modifikation des Verfahrens von DEAN erscheint somit nicht sehr sinnvoll. Im folgenden wird daher allein die Heuristik DEAN 1 in Kombination mit Verzinskungskriterien betrachtet. Dieses Verfahren entspricht weitgehend der Urform des "Capital Budgeting."

(3) Das Eröffnungsverfahren SPIEL 1 scheidet in Kombination mit der Mehrzahl der Vorteilskriterien bei geringen Zinsdifferenzen überraschend gut ab. "Katastrophale" Ergebnisse erzielt diese klassische Vorgehensweise allerdings in Verbindung mit dem Vermögenswert und der Vermögenswerttrate. Die Ursache dafür ist offensichtlich im Versagen der Vergleichswerte für diese beiden Kriterien zu suchen (Vergleiche Abbildung 81). Allerdings reagiert dieses Verfahren der isolierten

¹⁾ Vgl. die Erläuterung dieses Qualitätsmaßes in Abschnitt 7.6.3.

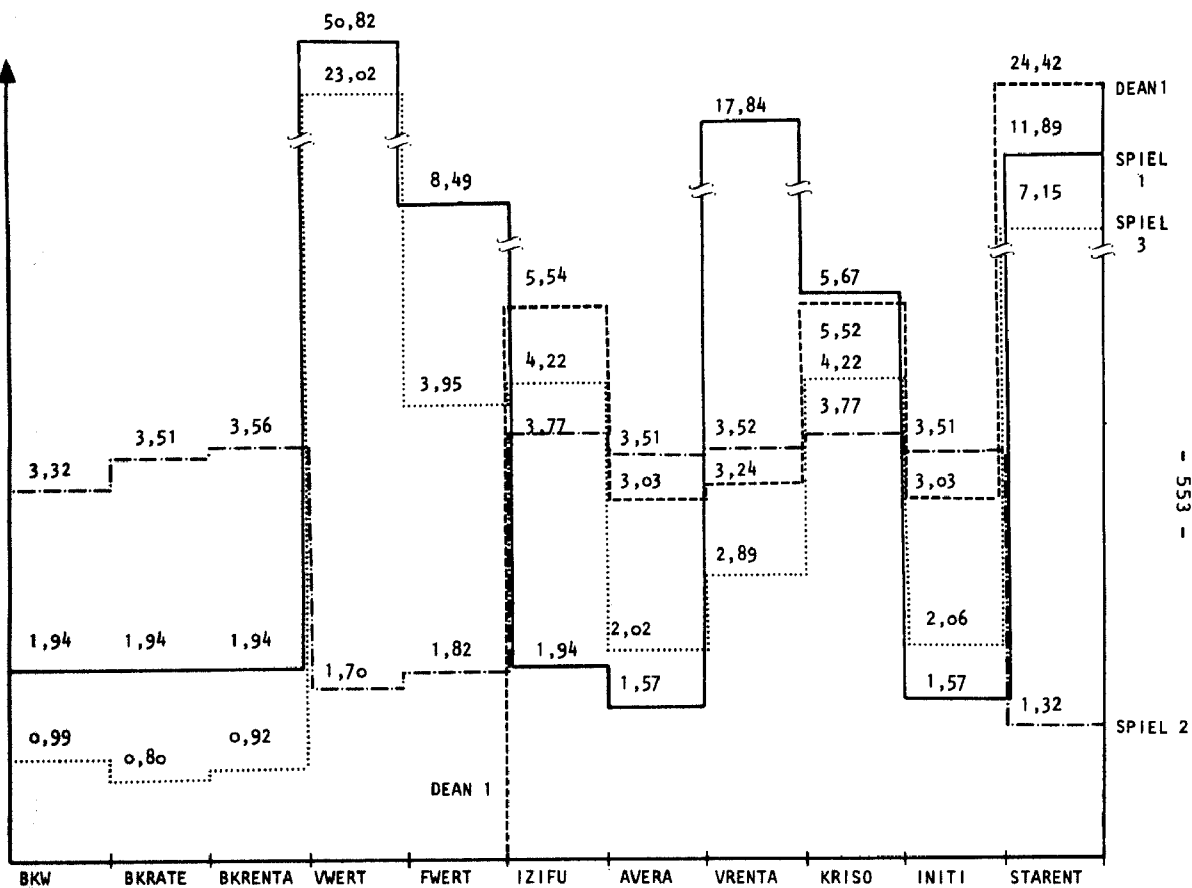


Abb. 81: Mittlere prozentuale Abweichungen im Testbereich 1 bei (s-h) = 5%

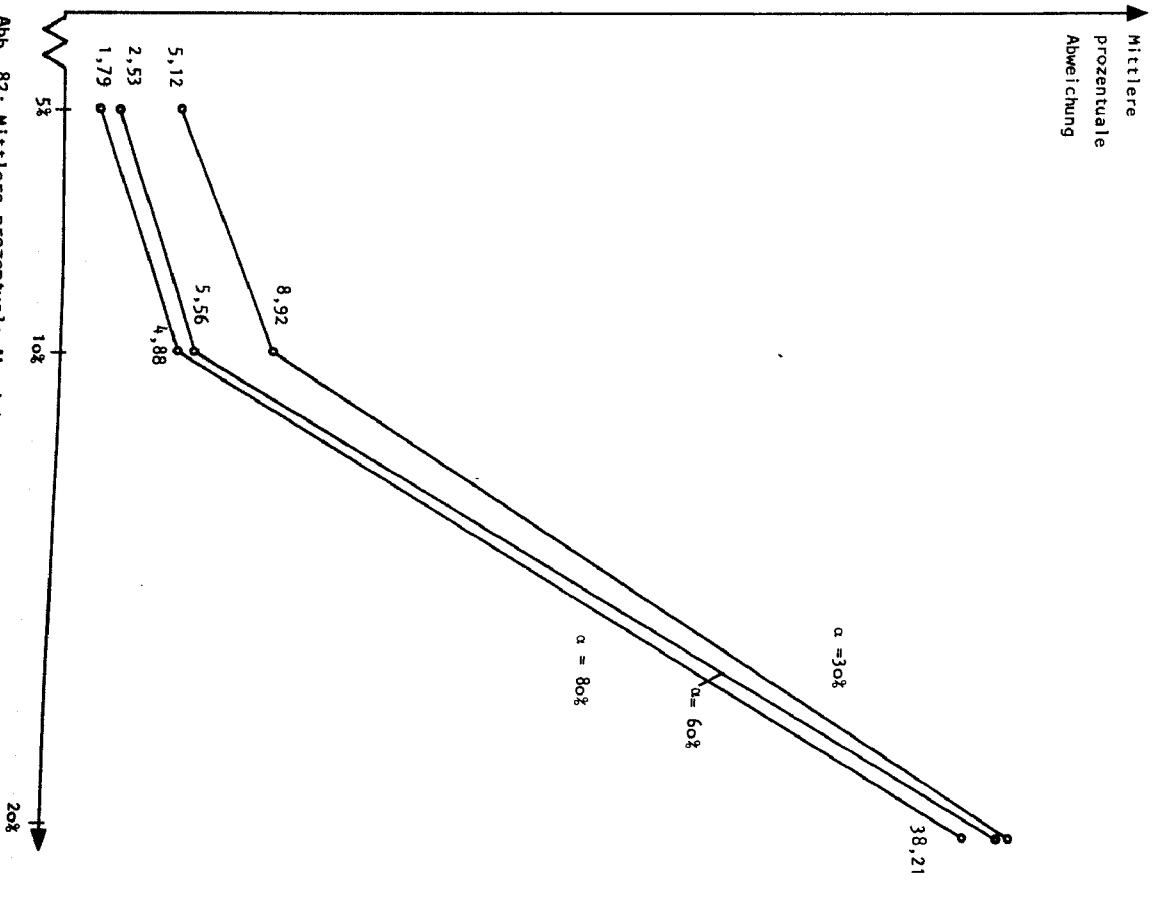


Abb. 82: Mittlere prozentuale Abweichungen von SPIEL 1 mit dem Vorteilskriterium BKV bei alternativen Zinsdifferenzen und Liquiditätsglänsen (Testbereich 1, 100 Investitionen und 50 Kredite, Planungszeitraum 5 Jahre)

Projektbeurteilung sehr sensibel auf Erhöhungen der Zinsdifferenzen und Verschärfungen der Liquiditätsbedingungen (vergleiche Abbildung 82).

(4) Sehr stabile und gute Ergebnisse erzielen die beiden Vorausschauregelverfahren SPIEL 2 und SPIEL 3. Sie sind den beiden anderen betrachteten heuristischen Verfahren eindeutig überlegen. ¹⁾

Die Stabilität der Ergebnisse dieser Verfahren drückt sich unter anderem darin aus, daß sie weit weniger als SPIEL 1 und DEAN auf Veränderungen der Zinsdifferenz und des Planungszeitraums reagieren. Bei näherer Analyse der Ergebnisse ergibt sich, daß in aller Regel eine der 22 Heuristiken (alle 11 finanzmathematischen Kriterien in Verbindung mit SPIEL 2 und SPIEL 3) eine Lösung errechnet, die sich von der Optimallösung nur um weniger als 1 % unterscheidet.

(5) Das Verfahren DEAN 1 ist den beiden Vorausschauregelverfahren sowie bei niedrigen Zinsdifferenzen bemerkenswerterweise auch der klassischen Vorgehensweise SPIEL 1 tendenziell unterlegen. ²⁾ Tabelle 23 vergleicht die Ergebnisse von DEAN 1 in Kombination mit dem Interessen zinsfuß mit den anderen Eröffnungsverfahren bei alternativen Zinsdifferenzen.

1) Formulierungen wie "eindeutig überlegen" werden dann gewählt, wenn der Wilcoxon-Test eine statistische Signifikanz der Verfahrensunterschiede von mindestens 95 % anzeigt.

2) Formulierungen wie "tendenziell überlegen" werden dann gewählt, wenn zwar die Häufigkeitsverteilungen ohne solche Überlegenheit anzeigen, der Wilcoxon-Test aber nicht in allen Testfeldern eine statistische Signifikanz der Überlegenheit eines Verfahrens gegenüber einem anderen von mindestens 95 % anzeigt.

	Interner Zinsfuß										Initialverzinsung										Kennzeichnung des Testfeldes
	>30	>20	>15	>10	>5	>4	>3	>2	>1	>0	>30	>20	>15	>10	>5	>4	>3	>2	>1	>0	
SPIEL 1	-	-	-	-	6	4	20	28	28	14	-	-	1	3	5	2	8	23	35	23	40 Investitionen 20 Kredite
SPIEL 2	-	-	1	-	10	13	19	30	19	8	-	-	-	-	14	9	26	26	19	6	5% Zinsdifferenz 5 Jahre Planungszeitraum
SPIEL 3	-	-	-	1	1	-	1	3	12	82	-	-	-	1	4	1	-	4	12	78	
DEAN 1			2	7	22	9	14	18	14	14	-	-	-	1	18	6	2	17	27	29	
SPIEL 1	2	4	2	3	37	16	12	18	6	0	3	3	5	13	28	11	10	17	8	2	40 Investitionen 20 Kredite
SPIEL 2	-	-	-	6	44	14	14	10	8	4	-	-	-	6	44	8	12	15	7	8	10% Zinsdifferenz 5 Jahre Planungszeitraum
SPIEL 3	-	-	-	1	5	0	5	8	24	57	-	-	-	5	2	6	10	25	52		
DEAN 1	-	-	5	19	34	7	12	6	9	8	-	-	3	8	34	7	15	18	5	10	
SPIEL 1	66	14	7	6	5	-	-	1	1	-	66	14	7	6	5	-	-	1	1	-	40 Investitionen 20 Kredite
SPIEL 2	-	-	3	10	42	12	4	9	9	11	-	1	2	17	29	12	6	8	11	14	20% Zinsdifferenz 5 Jahre Planungszeitraum
SPIEL 3				4	9	14	29	12	16	16				1	2	7	19	34	21	16	
DEAN 1	-	11	11	29	27	7	5	4	3	3	6	20	13	33	22	2	3	0	1	0	

Tab. 22 Klassifizierte prozentuale Abweichungen von der Optimallösung für drei ausgewählte Testfelder bei zwei Verzinsungsmaßen

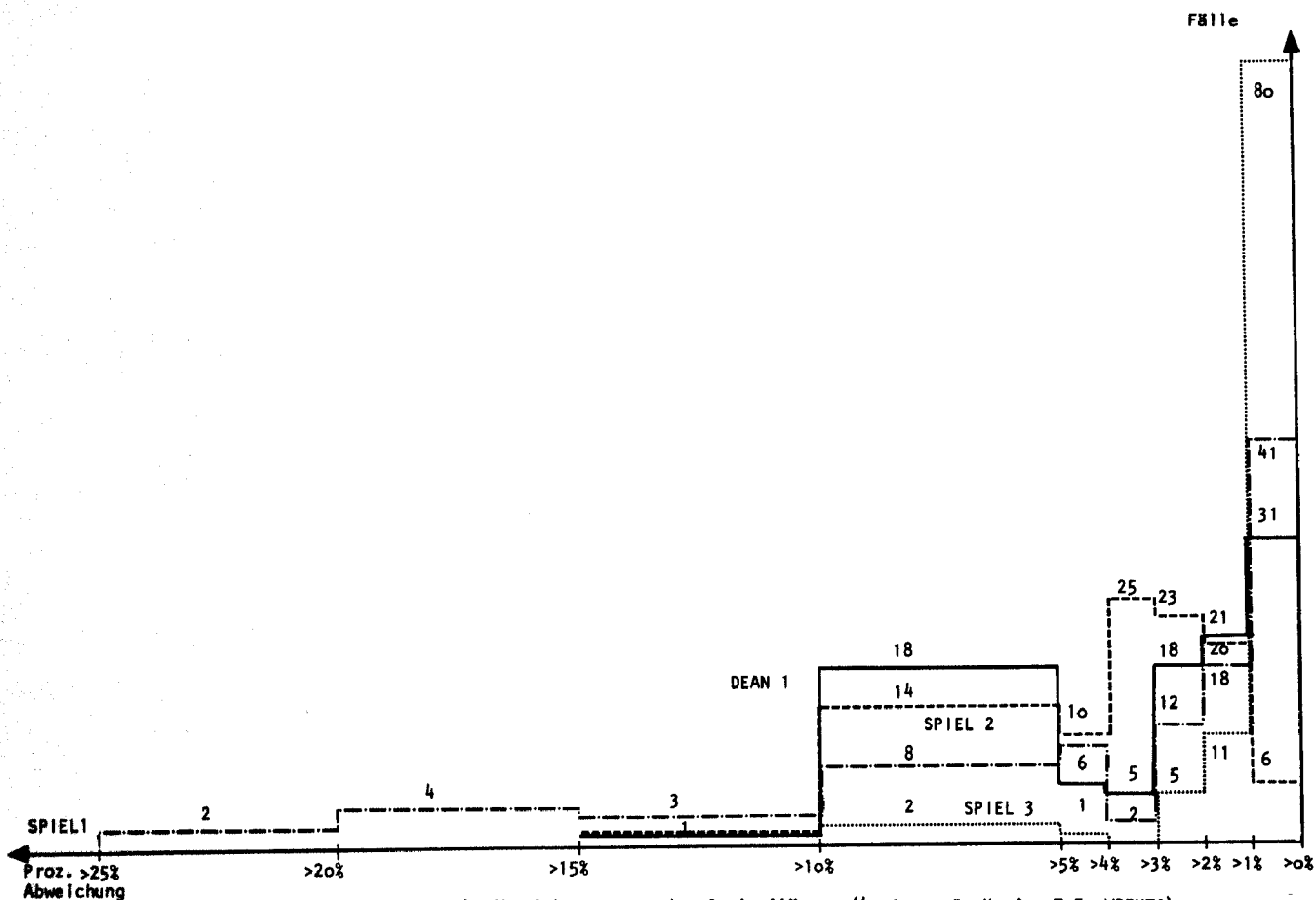


Abb. 83: Klassifizierte prozentuale Abweichungen von der Optimallösung (40 Inv., 50 Kred., T=5, VRENTA)

Allgemein gilt, daß das Risiko, mit der von Dean empfohlenen Heuristik Fehlentscheidungen zu treffen, bei jedem der untersuchten Verzinsungsmaße mit wachsendem Planungszeitraum und zunehmender Differenz zwischen Soll- und Habenzins steigt.

Zinsdifferenz	Mittlere, prozentuale Abweichung			
	DEAN	SPIEL 1	SPIEL 2	SPIEL 3
5 %	4,42	2,53	1,33	1,45
10 %	7,28	5,56	3,64	3,62
20 %	9,09	39,28	4,72	4,19

Tabelle 23 : Eröffnungsverfahren DEAN 1 in Kombination mit dem Internen Zinsfuß im Vergleich zu den anderen Heuristiken bei alternativen Zinsdifferenzen [100 Investitionen, 50 Kredite, Planungszeitraum 5 Jahre, 60 % Liquiditätsschäfte]

(6) Die Güteaussagen über die untersuchten Heuristiken lassen sich stärker absichern, wenn man neben der durchschnittlichen Abweichung von der Optimallösung die vollständigen Häufigkeitsverteilungen des Qualitätsmaßes A_{ij} betrachtet (vergleiche Abbildung 83). Diese Häufigkeitsverteilungen schwanken sehr viel stärker in Abhängigkeit von dem betrachteten Vorteilmaß, als sich aus den verdichteten Maßen \bar{x} und s^2 ablesen läßt. Zur Erläuterung sind in Tabelle 22 die vollständigen klassifizierten Häufigkeitsverteilungen für drei Testfelder mit variierendem Abstand zwischen Haben- und Sollzins zusammengestellt. Man erkennt daraus deutlich, wie sich die Ergebnisse für DEAN 1 und SPIEL 2 mit zunehmender Zinsdifferenz zunehmend verschlechtern, wäh-

rend bei den beiden Vorausschauregelverfahren eine weit weniger starke Verschiebung der Häufigkeitsverteilung festzustellen ist.

Aus darstellerischen Gründen ist es allerdings an dieser Stelle unmöglich, die klassifizierten prozentualen Abweichungen für 4 Eröffnungsverfahren in Kombination mit 11 Vorteilmaßstäben für 18 Testfelder aufzulisten. Stattdessen sind in Tabelle 24 der Mittelwert und die Varianz für drei ausgewählte Vorteilhaftigkeitsmaße (Kapitalwert, Interner Zinsfuß, Initialverzinsung) zusammengestellt.

Die Beschränkung auf vier finanzmathematische Kriterien erscheint zulässig, wenn man die Ergebnisse bezüglich dieser Kriterien auswertet:

(1) Bei Tests mit einmaligem Vorzeichenwechsel ist es gleichgültig, ob man die Rangfolge der Projekte auf der Basis des Internen Zinsfußes oder des kritischen Sollzinsfußes ermittelt. Während allerdings der interne Zinsfuß als Vergleichswert den Kalkulationszins wählt, bezieht sich der kritische Sollzinsfuß (seinem Namen gemäß) auf den Sollzins. Dies führt bei SPIEL 1 zu differierender Ergebnissen; bei allen anderen Heuristiken sind die Ergebnisse identisch - wenn man von geringfügigen verfahrenstechnisch bedingten Abweichungen bei den Vorausschauregelverfahren absieht.

(2) Eine Identität der Ergebnisse ist auch in bezug auf die Average Return Rate ¹⁾ im Vergleich zur Initialver-

1) Dieses Kriterium wird in der Literatur unterschiedlich genannt. Vgl. Solomon, Extra: The Arithmetic of Capital Budgeting Decisions, a.a.O., Overall Rate of Return; Bernhard, R.H.: Discount Methods for Expertise Evaluation - A Clarification of their Assumptions, in: Journal of Industrial Engineering Vol. 13 (1962), S. 19-27, hier: S. 25 (Average Return Rate); Albach, H.: Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit betrieblicher Investitionen, in: ZfB 29. Jg. (1959), S. 419-431, hier: S. 428 ff. (Verfehrter interner Zinsfuß)

Problemdbe Inv. Kred.	Zinsdifferenz (s - h)	Planungs- zeitraum T	Erdfahrungs- verfahren	Kapitalwert		Interner Zinsfuß		Initialverzinsung	
				\bar{x}	\bar{s}^2	\bar{x}	\bar{s}^2	\bar{x}	\bar{s}^2
100	5%	5	SPIEL 1	2,4	2,3	2,4	2,3	2,5	2,3
			SPIEL 2	2,8	2,7	3,1	3,9	2,4	2,3
			SPIEL 3	0,6	1,8	0,6	2,5	0,8	2,9
		DEAN 1	-	-	4,3	12,4	2,7	6,0	
		7	SPIEL 1	2,5	2,3	2,5	2,3	1,9	1,2
			SPIEL 2	2,8	3,3	2,8	4,1	2,0	3,6
	SPIEL 3		0,8	4,1	2,9	44,8	0,8	3,9	
	DEAN 1	-	-	5,3	7,1	3,7	6,0		
	9	SPIEL 1	2,0	1,6	2,0	1,6	1,6	1,3	
		SPIEL 2	3,1	2,5	3,6	2,9	3,2	2,9	
		SPIEL 3	2,2	8,5	2,7	9,8	2,4	9,4	
	DEAN 1	-	-	6,2	19,8	3,6	5,9		
	10%	5	SPIEL 1	6,9	62,9	6,9	62,9	6,9	62,9
			SPIEL 2	4,9	8,4	5,2	7,2	5,0	8,9
			SPIEL 3	1,3	2,1	1,4	3,9	1,3	2,3
		7	SPIEL 1	6,2	22,3	6,2	22,3	6,1	36,8
			SPIEL 2	5,0	6,5	5,7	8,4	5,2	7,1
			SPIEL 3	1,8	5,4	1,9	14,1	1,3	2,8
DEAN 1	-	-	8,0	6,0	18,4				
9	SPIEL 1	5,4	17,9	5,4	17,9	5,4	17,9		
	SPIEL 2	5,2	7,0	5,4	7,4	4,8	6,7		
	SPIEL 3	1,7	19,1	2,9	16,6	1,5	6,0		
DEAN 1	-	-	9,1	29,9	6,3	17,7			
20%	5	SPIEL 1	42,6	636,0	42,6	636,0	42,6	636,0	
		SPIEL 2	7,3	27,0	6,0	17,2	5,7	21,0	
		SPIEL 3	2,4	7,8	2,8	10,2	2,4	8,3	
	DEAN 1	-	-	10,8	43,3	15,4	63,2		
	7	SPIEL 1	43,0	639,9	43,0	639,9	54,3	631,8	
		SPIEL 2	7,0	17,6	7,2	13,4	7,1	17,6	
SPIEL 3		3,7	13,8	4,0	25,2	5,0	20,4		
DEAN 1	-	-	13,2	83,2	18,4	78,3			
9	SPIEL 1	44,3	626,9	44,3	626,9	44,5	631,8		
	SPIEL 2	7,2	18,9	8,1	21,6	7,3	23,6		
	SPIEL 3	4,2	12,6	4,3	23,4	3,7	17,6		
DEAN 1	-	-	15,2	87,5	22,0	105,7			

Tab. 24 - 1: Mittelwerte und Varianzen der prozentualen Abweichungen von der Optimallösung bei ausgewählten finanziellen Vorteilskriterien im Testbereich 1

Problemdbe Inv. Kred.	Zinsdifferenz (s - h)	Planungs- zeitraum T	Erdfahrungs- verfahren	Barkapitalwert		Interner Zinsfuß		Initialverzinsung	
				\bar{x}	\bar{s}^2	\bar{x}	\bar{s}^2	\bar{x}	\bar{s}^2
100	5%	5	SPIEL 1	2,5	0,7	2,5	0,7	2,5	0,7
			SPIEL 2	1,1	0,2	1,3	0,2	1,2	0,2
			SPIEL 3	0,6	5,1	1,4	0,3	2,1	8,2
		DEAN 1	-	-	4,4	3,3	4,5	2,9	
		7	SPIEL 1	2,2	0,8	2,2	0,8	2,2	0,8
			SPIEL 2	2,2	1,2	1,9	1,4	1,5	0,8
	SPIEL 3		0,8	2,6	4,2	28,4	2,2	5,1	
	DEAN 1	-	-	5,0	5,3	2,8	2,8		
	9	SPIEL 1	1,9	0,7	1,9	0,7	1,5	0,5	
		SPIEL 2	3,3	1,0	3,7	1,0	3,5	1,3	
		SPIEL 3	1,0	4,4	4,2	29,1	2,1	5,2	
	DEAN 1	-	-	5,5	7,1	3,0	3,3		
	10%	5	SPIEL 1	5,5	2,4	5,5	2,4	5,0	2,4
			SPIEL 2	3,3	1,3	3,6	1,1	3,3	1,0
			SPIEL 3	1,2	1,7	3,6	4,3	3,8	6,4
		DEAN 1	-	-	7,2	7,9	4,5	4,0	
		7	SPIEL 1	5,0	5,5	5,0	5,5	5,0	5,4
			SPIEL 2	4,9	2,7	5,5	3,4	4,9	3,0
SPIEL 3	4,4		15,9	4,1	6,1	4,3	8,2		
DEAN 1	-	-	8,0	9,7	4,7	5,1			
9	SPIEL 1	4,1	2,1	4,1	2,1	4,1	2,1		
	SPIEL 2	3,3	1,3	3,6	2,8	3,7	6,3		
	SPIEL 3	3,4	2,8	3,7	12,0	4,2	6,8		
DEAN 1	-	-	10,0	9,9	6,2	6,2			
20%	5	SPIEL 1	39,2	242,5	39,2	242,5	39,2	242,5	
		SPIEL 2	5,1	5,3	4,8	4,6	4,1	4,1	
		SPIEL 3	5,4	6,8	4,7	2,6	4,7	9,8	
	DEAN 1	-	-	9,0	14,3	14,3	20,1		
	7	SPIEL 1	42,3	241,7	42,3	241,7	53,9	274,8	
		SPIEL 2	5,3	5,7	6,0	7,9	5,4	7,9	
SPIEL 3		4,8	9,0	5,1	5,2	5,8	11,2		
DEAN 1	-	-	12,3	18,3	18,8	24,8			
9	SPIEL 1	42,6	323,6	42,6	323,6	42,6	323,6		
	SPIEL 2	4,9	3,9	6,6	5,1	4,9	3,9		
	SPIEL 3	6,5	14,0	7,1	11,7	7,8	12,3		
DEAN 1	-	-	13,0	33,4	21,3	56,9			

Tab. 24 - 2: Mittelwerte und Varianzen der prozentualen Abweichungen von der Optimallösung bei ausgewählten finanziellen Vorteilskriterien im Testbereich 1

Verzinsung festzustellen. Zwar besteht keine numerische Identität zwischen beiden Maßen, es läßt sich aber nachweisen, daß beide Kriterien die gleiche Rangordnung zwischen den Investitions- beziehungsweise Finanzierungsprojekten erzeugen. 1)

(3) Zu nur geringfügig differierenden Ergebnissen führen der Kapitalwert und die beiden darauf basierenden, relativen Kriterien Kapitalwertrate und Kapitalwertrentabilität. In der Regel führte die Kapitalwertrentabilität in Testbereich 1 zu geringfügig besseren Ergebnissen (vergleiche Tabelle 25).

	BKW	BKRATE	BKRENTA
SPIEL 1	5,45	5,45	5,45
SPIEL 2	5,24	5,22	5,11
SPIEL 3	1,78	1,27	1,25
DEAN 1	28,82	26,25	19,87

Tabelle 25: Durchschnittliche prozentuale Abweichungen des Kapitalwerts im Vergleich zur Kapitalwertrate und zur Kapitalwertrentabilität

[40 Investitionen, 20 Kredite, Planungszeitraum 10 Jahre, 10 % Zinsdifferenz]

(4) Aufgrund der Vergleichsvorschriften schneiden die Vermögenrentabilität und der Vermögenswert in Kombination mit SPIEL 1 sehr schlecht ab. In Verbindung mit den anderen Eröffnungsverfahren erzielen beide Kriterien hingegen durchaus akzeptable Ergebnisse. In abgemilderter

1) Vgl. Blumentrath, U.: Investitions- und Finanzplanung, a.a.O., S. 300 ff., dort auch die Fußnote 34

Form gilt diese Aussage auch für den Finalwert, der ebenfalls aufgrund seiner Vergleichsvorschrift bei SPIEL 1 schlechte Ergebnisse erzielt.

(5) Das einzige untersuchte statische Kriterium, die statische Rentabilität, erreicht in Kombination mit den beiden Vorausschauregeln gute Ergebnisse, die bei bestimmten Testfeldern sogar die Ergebnisse der meisten parallel angewendeten dynamischen Verfahren übersteigen; in Verbindung mit den Heuristiken DEAN 1 und SPIEL 1 sind die Abweichungen von der Optimallösung jedoch deutlich höher als bei den dynamischen Verfahren (vergleiche Tabelle 26).

	(s-h) = 5 %	(s-h) = 10 %	(s-h) = 20 %			
AVERA	STARENT	AVERA	STARENT			
SPIEL 1	2,48	17,92	6,16	22,12	43,00	31,00
SPIEL 2	3,72	2,01	5,22	7,14	7,10	14,60
SPIEL 3	0,84	7,66	1,35	6,55	5,01	8,93
DEAN	3,69	24,50	6,00	29,27	18,49	37,84

Tabelle 26: Durchschnittliche prozentuale Abweichungen der Average Return Rate im Vergleich zur Statischen Rentabilität bei alternativen Zinsdifferenzen

[40 Investitionen, 20 Kredite, Planungszeitraum 7 Jahre]

Betrachtet man die Ergebnisse der Wilcoxon-Tests für den Testbereich 1 (vergleiche Tabelle 27), so ergibt sich, daß zwar in einzelnen Testfeldern eine statistisch signifikante Überlegenheit einzelner Kriterien über andere vorliegt, über den gesamten Testbereich gesehen können aber nur fol-

BKW BKR BRE VWE FWE IZI AVE VRE KRI INI STA

SPIEL 1		BKW	BKR	BRE	VWE	FWE	IZI	AVE	VRE	KRI	INI	STA
BKRATE	-	=	=	>	>	>	=	=	>	=	=	>
BRENDA	-	=	>	>	>	=	=	=	=	=	=	>
VWERE	-	>	>	>	=	=	>	=	=	=	=	>
FWERE	-	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
IZIFU	-	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
AVERA	-	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
VRENDA	-	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
KRISO	-	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
INTI	-	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
STAREN	-	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>

SPIEL 2		BKW	BKR	BRE	VWE	FWE	IZI	AVE	VRE	KRI	INI	STA
BKRATE	-	=	=	<	<	<	=	=	=	=	=	=
BRENDA	-	=	<	<	<	=	=	=	=	=	=	=
VWERE	-	<	<	<	=	=	=	=	=	=	=	=
FWERE	-	<	<	<	=	=	=	=	=	=	=	=
IZIFU	-	<	<	<	=	=	=	=	=	=	=	=
AVERA	-	<	<	<	=	=	=	=	=	=	=	=
VRENDA	-	<	<	<	=	=	=	=	=	=	=	=
KRISO	-	<	<	<	=	=	=	=	=	=	=	=
INTI	-	<	<	<	=	=	=	=	=	=	=	=
STAREN	-	<	<	<	=	=	=	=	=	=	=	=

SPIEL 3		BKW	BKR	BRE	VWE	FWE	IZI	AVE	VRE	KRI	INI	STA
BKRATE	-	=	=	>	>	>	>	>	>	>	>	>
BRENDA	-	=	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
VWERE	-	>	>	>	=	=	=	=	=	=	=	>
FWERE	-	>	>	>	=	=	=	=	=	=	=	>
IZIFU	-	>	>	>	=	=	=	=	=	=	=	>
AVERA	-	>	>	>	=	=	=	=	=	=	=	>
VRENDA	-	>	>	>	=	=	=	=	=	=	=	>
KRISO	-	>	>	>	=	=	=	=	=	=	=	>
INTI	-	>	>	>	=	=	=	=	=	=	=	>
STAREN	-	>	>	>	=	=	=	=	=	=	=	>

DEAN		IZIFU	AVERA	VRENDA	INTI	STAREN
IZIFU	-	=	=	=	=	>
AVERA	-	=	=	=	=	>
VRENDA	-	=	=	=	=	>
INTI	-	=	=	=	=	>
STAREN	-	=	=	=	=	>

Tab. 27 : Ergebnisse des Wilcoxon - Rangsummentests in Bezug auf die finanziellen Vorteilhaftigkeitskriterien im Testbereich 1

gende Aussagen getroffen werden:

- (1) In Kombination mit SPIEL 1 sind alle dynamischen Kriterien, bis auf den Vermögenswert, den Finalwert und die Vermögensrentabilität der statischen Rentabilität überlegen. Die vier genannten Kriterien sind statistisch gleichrangig.
 - (2) In Kombination mit SPIEL 2 sind bemerkenswerterweise der Vermögenswert, der Finalwert und die Vermögensrentabilität den anderen Kriterien statistisch signifikant überlegen. Alle anderen Kriterien, einschließlich der statischen Rentabilität, sind gleichrangig.
 - (3) In Verbindung mit SPIEL 3 führen der Barkapitalwert, die Barkapitalwertrate und die Barkapitalwertrentabilität zu statistisch besseren Ergebnissen als alle anderen Kriterien.
 - (4) Bei DEAN sind die dynamischen Verzinsungskriterien der statischen Rentabilität signifikant überlegen.
- Die mangelnde Trennschärfe des Wilcoxon-Tests ist sicher zum einen darauf zurückzuführen, daß insbesondere bei niedrigen Differenzen zwischen Soll- und Habenzins alle Rangordnungskriterien nur geringfügig unterschiedliche Abweichungen erzielen, zum anderen aber auch darauf, daß in jeder Simulationsreihe eine Anzahl "leicht lösbarer" Entscheidungsprobleme existiert, die von allen Rangordnungskriterien mit ähnlichen Ergebnissen bewältigt werden.
- Diese Aussagen gelten auch für die weiteren Testbereiche, so daß auf eine separate Betrachtung der Ergebnisse des Wilcoxon-Tests in der Folge verzichtet werden soll.

Neben der Lösungsgüte der Verfahren sei die jeweils benötigte Rechenzeit betrachtet. Die Rechenzeiten der Heuristiken schwanken in Abhängigkeit von der Belastung der Anlage zur Testzeit geringfügig, diejenigen der zum Vergleich herangezogenen Optimierungsoftware hingegen stark, wobei die Problemeigenschaften eine große Rolle spielen. Tabelle 28 stellt die Rechenzeiten für das kleinste und das größte Problem in Testbereich 1 zusammen.

Problemeigen- schaften	ZVOR	ZKRIT	ZRANG	ZSP1 ¹⁾	ZSP2 ¹⁾	ZSP3 ¹⁾	ZDEAN ¹⁾	APBX
100 Investi- tionen, 50 Kredite, 9 Jahre	0,05	0,17	0,03	0,02	0,04	0,18	0,03	1,50
40 Investi- tionen, 20 Kredite, 5 Jahre	0,16	1,06	0,19	0,04	0,14	0,92	0,09	6,40

Tabelle 28 : Repräsentative Rechenzeiten (CPU-Sekunde) im Testbereich 1

7.6.4.3. Testbereich 2: Alle Projekte beginnen in $t = 0$, mehrere Vorzeichenwechsel der Investitionszahlungsreihen, Kalkulationszinsfuß entspricht dem arithmetischen Mittel aus Soll- und Habenzins

Der zweite Testbereich wurde besonders im Hinblick auf den internen Zinsfuß untersucht. Da mathematisch dieses Verfahren die Bestimmung der Nullstellen eines Polynoms höherer

1) Die Rechenzeiten für die Eröffnungsverfahren umfassen den Parallel-
lauf aller 11 Vorteilsmatrizen

Ordnung verlangt, können im Fall mehrfacher Vorzeichenwechsel bekanntlich mehrdeutige Lösungen auftreten.

Der gesamte Testbereich bestand aus 6 Testfeldern. Es wurden nur Probleme mit einem Planungszeitraum von 9 Jahren und einer Zinsdifferenz von 10 % betrachtet. Untersucht wurden jeweils drei Probleme mit 40 Investitionen und 20 Krediten beziehungsweise solche mit 100 Investitionen und 50 Finanzierungsprojekten. In jedem dieser beiden Testgebiete wurde der Datengenerator dann alternativ so gesteuert, daß die Zahlungsreihen aller Investitionen entweder genau einen, genau zwei oder genau drei Vorzeichenwechsel besaßen. Zu welchen Zeitpunkten die Vorzeichenwechsel jeweils auftraten, wurde dem Zufall überlassen.

Der Testaufbau unterschied sich vom Testbereich 1 weiterhin darin, daß für den internen Zinsfuß alternative Berechnungsregeln verwendet wurden. Drei Konzepte wurden nebeneinander benutzt:

1. der maximale interne Zinsfuß;
2. der "vernünftige" interne Zinsfuß, der dem maximalen entsprach, sofern dieser nicht größer als 100 % war;
3. der minimale interne Zinsfuß, wobei jedoch nur Lösungen < 100 % betrachtet wurden.

Die Berechnungsregeln für die anderen finanziellen Vorteilskriterien wie auch die Eröffnungsverfahren wurden nicht verändert.

Die Ergebnisse bezüglich der Eröffnungsverfahren lassen sich in folgenden Thesen zusammenfassen:

- (1) Alle Heuristiken schneiden bei dreifachem Vorzeichenwechsel deutlich besser ab als bei einmaligem oder doppeltem Wechsel. Dies kann teilweise dadurch erklärt

werden, daß die Liquiditätsanspannung in $t = 0$ durch eine zunehmende Anzahl von Vorzeichenwechseln tendenziell geringer wird und damit entsprechende Planungsprobleme leichter zu lösen sind.

Anzahl der Vorzeichenwechsel	
1	2
SPIEL 1	4,8
SPIEL 2	4,2
SPIEL 3	3,6
DEAN 1	8,1

Tabelle 29 : Durchschnittliche Lösungsabweichung der Eröffnungsverfahren in Kombination mit der Average Return Rate bei alternativer Anzahl von Vorzeichenwechseln

[100 Investitionen, 50 Kredite, 10 % Zinsdifferenz]

(2) Die Rangfolge unter den Eröffnungsverfahren entspricht derjenigen des Testbereichs 1. Wiederrum schneiden die beiden Vorausschauregelverfahren besser als DEAN 1 ab. SPIEL 1 erzielt wiederum überraschend gute Ergebnisse, signifikant besser bezüglich der durchschnittlichen Lösungsabweichung ist nur das rechenintensive Verfahren SPIEL 3.

Vergleicht man die Lösungsabweichung im Hinblick auf die Vorteilmaßstäbe, so lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

(1) Die Ergebnisse von Initialverzinsung und Average Return Rate sind wiederum identisch, während sich bei mehrfachen

Vorzeichenwechseln Unterschiede zwischen dem Kritischen Sollzinsfuß und dem Internen Zinsfuß ergeben. In der Regel scheidet der Kritische Sollzins geringfügig besser ab.

2. Vorzeichenwechsel		3. Vorzeichenwechsel	
KRISO	IZIFU	KRISO	IZIFU
SPIEL 2	4,24	4,15	2,74
SPIEL 3	4,37	4,24	1,58
DEAN 1	10,80	8,05	6,16

Tabelle 30 : Vergleich der durchschnittlichen Lösungsabweichung von Kritischem Sollzins und "maximalen" Internen Zins bei zwei und drei Vorzeichenwechseln in den Investitionszahlungsreihen

[100 Investitionen, 50 Kredite, 9 Jahre Planungszeitraum, 10 % Zinsdifferenz]

(2) Die Vermögenrentabilität scheidet in Kombination mit den Eröffnungsverfahren SPIEL 2, SPIEL 3 und DEAN 1 sehr gut ab; in der Regel übertreffen die Ergebnisse die Resultate der anderen Verzinsungskriterien. Nur in Verbindung mit SPIEL 1 werden aufgrund des Vergleichsmaßstabes sehr schlechte Ergebnisse erzielt.

(3) Untersucht man das Verhalten der drei Varianten des Internen Zinsfußes, so zeigt sich, daß der "maximale" interne Zins fast immer als bester abschneidet. Insgesamt scheidet der interne Zins im Vergleich zur konkurrierenden Average Return Rate, außer in Kombination mit DEAN 1, allerdings signifikant schlechter ab (vergleiche Tabelle 32).

	3 Vorzeichenwechsel			2 Vorzeichenwechsel			1 Vorzeichenwechsel	
	IZIFU	AVERA	min. vernünft. max.	IZIFU	AVERA	min. vern. max.	IZIFU	AVERA
SPIEL 1	6,9	8,9	5,5	7,6	5,7	5,7	4,1	4,1
SPIEL 2	3,1	3,1	2,9	7,4	4,8	4,8	4,1	4,0
SPIEL 3	3,0	5,4	1,9	4,9	3,8	3,6	3,2	1,2
DEAN 1	7,9	9,7	6,7	11,2	10,5	10,5	11,7	8,6

Tabelle 31: Durchschnittliche prozentuale Abweichungen von Average Return Rate und den 3 untersuchten Konzeptionen des Internen Zinsfußes bei alternativen Vorzeichenwechseln

[40 Investitionen, 20 Kredite, 9 Jahre Planungszeitraum, 10 % Zinsdifferenz]

(4) Die statische Rentabilität schneidet in Testbereich 2 deutlich schlechter ab als in Testbereich 1. In Verbindung mit allen Heuristiken sind die von ihr erzielten Lösungsabweichungen deutlich größer als die von dynamischen Vorteilsmaßstäben.

(5) Die durchschnittlichen Lösungsabweichungen von Nutzenkriterien sind nicht geringer, tendenziell sogar ein wenig größer als die von Verzinsungskriterien. Insgesamt erzielen bei den Nutzenkriterien die Barkapitalwertrate und die Kapitalwertrentabilität die geringsten Abweichungen, in Kombination mit einem Vorausschauregelverfahren erzielt der Finalwert jedoch zumindest gleichwertige Ergebnisse.

Tabelle 33 stellt die klassifizierte prozentuale Abweichungen für die drei großen untersuchten Probleme (100 Investitionen, 50 Finanzierungsprojekte) für drei ausgewählte Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe (Kapitalwertrentabilität,

	1 Vorzeichenwechsel										3 Vorzeichenwechsel										
	>30	>20	>15	>10	>5	>4	>3	>2	>1	>0	>30	>20	>15	>10	>5	>4	>3	>2	>1	>0	
SPIEL 1	BRENTIA				19	26	32	19	4	0					4	29	10	19	26	10	2
	IZIFU-MAX				19	26	32	19	4	0					4	29	10	19	26	10	2
	AVERA				19	26	32	19	4	0					4	29	10	19	26	10	2
SPIEL 2	BRENTIA				21	34	34	9	2	0					3	8	14	35	35	5	
	IZIFU-MAX				35	28	26	9	2	0					6	10	22	26	33	3	
	AVERA				21	34	34	9	2	0					3	8	14	35	35	5	
SPIEL 3	BRENTIA							2	6	16	76					6	3	2	10	27	52
	IZIFU-MAX				6	51	21	14	6	2					2	11	14	15	39	19	
	AVERA				7	62	14	6	3	8					3	11	27	28	19	12	
DEAN 1	BRENTIA																				
	IZIFU-MAX	1	22	49	28						6	65	13	8	7	0	1				
	AVERA		26	63	8	2	1	0	0	50	21	19	8	1	1						

Tab. 32: Klassifizierte prozentuale Abweichungen von der Optimallösung im Testbereich 2 bei einem und drei Vorzeichenwechsel für ausgewählte Vorteilskriterien (100 Investitionen, 50 Kredite, Planungszeitraum 9 Jahre, Zinsdifferenz 10 %)

maximaler interner Zinsfuß und Average Return Rate) bei alternativen Vorzeichenwechseln zusammen.

7.6.4.4. Testbereich 3: Alle Projekte beginnen in $t = 0$; ein Vorzeichenwechsel in den Projektzahlungsreihen; der Kalkulationszinsfuß entspricht dem endogenen Zinsfuß der kontinuierlichen Lösung

Im dritten Testbereich sollte überprüft werden, welche Steigerung der Lösungsqualität durch Verwendung des endogenen Zinsfußes (2. materielles Grundkonzept) möglich ist. 1)

Dualwerte und damit endogene Zinsfüße sind für ganzzahlige Optimierungsprobleme nur unter bestimmten Bedingungen abzuleiten. Da auf der anderen Seite auch keine Prozedur bekannt ist, mit deren Hilfe die endogenen Zinsfüße heuristisch abgeschätzt werden können, wurden diese aus der kontinuierlichen Optimallösung des Entscheidungsproblems abgeleitet. Jedes Problem wurde dazu zunächst ohne Beachtung der Ganzzahligkeitsbedingungen als lineares Programm gelöst. Aus den Dualwerten dieser Lösung wurden dann die endogenen Zinsfüße für jede Periode errechnet. Auf der Grundlage dieser Kalkulationszinsfüße wurden dann die finanzwirtschaftlichen Vorteilskriterien für jedes Projekt ermittelt und eine Rangfolge der Investitionen beziehungsweise Kredite aufgestellt. Den Testablauf verdeutlicht Abbildung

Da jeder Testlauf erhebliche Rechenzeiten verbrauchte, wurden nur 3 Testfelder untersucht. Die Entscheidungsprobleme aus jeweils 100 Investitionen und 50 Krediten wurden dabei

1) Zu diesem Konzept vgl. Abschnitt 6.3.3.2. und die dort angegebene Literatur.

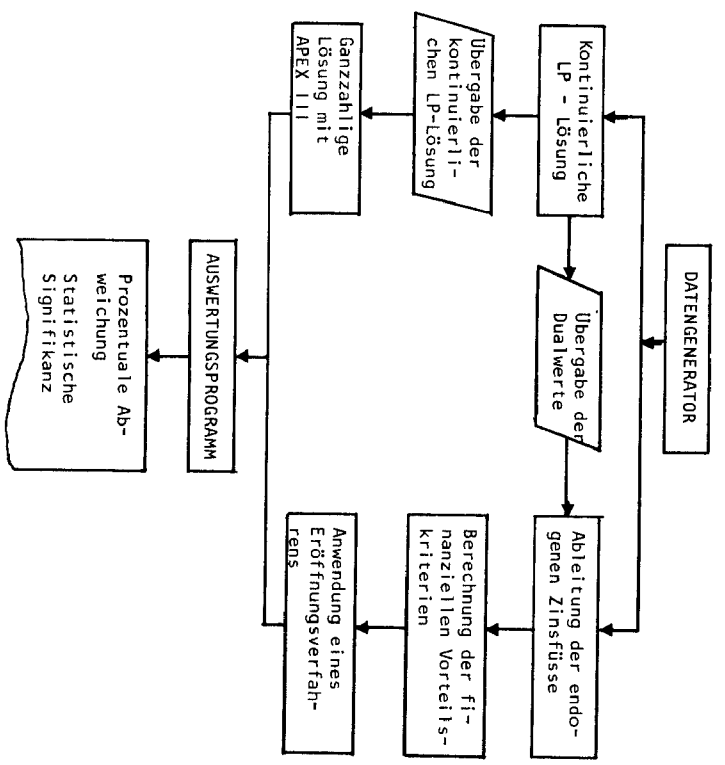


Abb. 84: Ablauf des Heuristiktests bei Verwendung der, aus den Dualwerten der kontinuierlichen Optimallösung abgeleiteten "endogenen" Kalkulationszinsfüße

Testfeld	Erdfrungs- verfahren	Kriterium	>20%	>15%	>10%	>5%	>4%	>3%	>2%	>1%	x	s ²	
1 (100 Inv., 50 Kred., 5 Jahre, (s-h) = 5%)	SPIEL 1	BKW	1	6	55	20	11	5	2	-	6,05	6,77	
		IZIFU	1	6	55	20	11	5	2	-	6,05	6,77	
		INITI	1	6	55	20	11	5	2	-	6,05	6,77	
	SPIEL 2	BKW	1	1	4	15	24	37	15	2,50	6,00	1,15	
		IZIFU	1	1	4	15	24	37	15	2,50	6,00	1,15	
		INITI	1	1	4	15	24	37	15	2,50	6,00	1,15	
	SPIEL 3	BKW	1	1	6	7	10	23	36	15	2,85	13,56	
		IZIFU	2	3	8	5	6	26	23	19	4,72	42,17	
		INITI	1	2	7	4	8	10	21	37	4,11	35,59	
	DEMAN 1	IZIFU	1	4	19	51	10	10	5	-	7,82	14,74	
		INITI	2	11	42	38	6	1	-	-	10,88	17,91	
		INITI	2	11	42	38	6	1	-	-	10,88	17,91	
2 (100 Inv., 50 Kred., 5 Jahre, (s-h) = 10%)	SPIEL 1	BKW	1	6	55	20	11	5	2	-	6,05	6,77	
		IZIFU	1	6	55	20	11	5	2	-	6,05	6,77	
		INITI	1	6	55	20	11	5	2	-	6,05	6,77	
	SPIEL 2	BKW	1	5	10	10	23	23	23	5	3,68	7,86	
		IZIFU	1	5	10	10	23	23	23	5	3,68	7,86	
		INITI	1	5	10	10	23	23	23	5	3,68	7,86	
	SPIEL 3	BKW	1	4	14	22	9	9	18	24	11	5,28	25,63
		IZIFU	2	10	11	25	9	18	12	4	7,27	49,80	
		INITI	4	14	17	34	11	10	4	3	9,67	55,59	
	DEMAN 1	IZIFU	11	24	36	26	5	2	-	1	-	13,32	29,58
		INITI	3	26	31	35	5	2	-	1	-	17,26	31,96
		INITI	3	26	31	35	5	2	-	1	-	17,26	31,96
3 (100 Inv., 50 Kred., 5 Jahre, (s-h) = 20%)	SPIEL 1	BKW	10	23	28	-	-	-	-	-	20,95	67,49	
		IZIFU	48	23	28	-	-	-	-	-	20,95	67,49	
		INITI	100	-	-	-	-	-	-	-	36,40	100,40	
	SPIEL 2	BKW	1	2	11	60	11	5	6	4	7,10	11,99	
		IZIFU	1	6	37	20	11	10	7	2	6,26	19,34	
		INITI	9	35	14	20	10	10	2	2	5,11	7,67	
	SPIEL 3	BKW	10	14	24	40	5	3	2	1	13,66	120,52	
		IZIFU	25	25	12	28	4	3	2	1	18,57	163,21	
		INITI	32	25	16	27	23	1	2	1	21,27	179,11	
	DEMAN 1	IZIFU	87	11	2	-	-	-	-	-	33,31	125,73	
		INITI	99	1	2	-	-	-	-	-	43,72	150,26	
		INITI	99	1	2	-	-	-	-	-	43,72	150,26	

Tab. 34 - 1 : Häufigkeitsverteilungen der prozentualen Abweichungen von der Optimallösung im Testbereich 4

Testfeld	Erdfrungs- verfahren	Kriterium	>20%	>15%	>10%	>5%	>4%	>3%	>2%	>1%	x	s ²	
4 (100 Inv., 50 Kred., 9 Jahre, (s-h) = 5%)	SPIEL 1	BKW	3	6	36	45	10	-	-	-	1,97	0,67	
		IZIFU	3	6	36	45	10	-	-	-	1,97	0,67	
		INITI	8	20	34	28	10	-	-	-	3,43	1,19	
	SPIEL 2	BKW	2	7	15	33	38	10	2,04	1,56	-	-	
		IZIFU	2	7	15	33	38	10	2,04	1,56	-	-	
		INITI	1	4	4	8	29	30	28	1,83	1,13	-	
	SPIEL 3	BKW	1	3	5	5	12	31	24	19	2,84	7,15	
		IZIFU	1	2	6	6	10	29	28	19	2,87	7,56	
		INITI	2	6	4	4	31	29	18	2,57	4,14	-	
	DEMAN 1	IZIFU	3	6	34	40	5	6	6	-	9,34	20,78	
		INITI	8	25	38	26	2	1	-	-	13,07	32,20	
		INITI	8	25	38	26	2	1	-	-	13,07	32,20	
5 (100 Inv., 50 Kred., 9 Jahre, (s-h) = 10%)	SPIEL 1	BKW	1	8	58	16	13	4	-	-	4,36	7,42	
		IZIFU	1	8	58	16	13	4	-	-	4,36	7,42	
		INITI	1	3	43	52	-	-	1	-	10,05	6,83	
	SPIEL 2	BKW	1	3	24	26	25	11	8	3	4,53	5,63	
		IZIFU	1	4	31	14	18	17	14	1	4,58	7,84	
		INITI	3	12	18	16	23	22	6	3,48	4,95	-	
	SPIEL 3	BKW	15	4	12	3	8	16	18	24	6,67	97,97	
		IZIFU	14	16	19	7	15	14	11	7	8,96	87,67	
		INITI	9	21	16	7	11	12	5	7,88	59,49	-	
	DEMAN 1	IZIFU	44	15	32	8	-	1	-	-	18,32	58,71	
		INITI	70	21	9	-	-	-	-	-	25,26	64,52	
		INITI	70	21	9	-	-	-	-	-	25,26	64,52	
6 (100 Inv., 50 Kred., 9 Jahre, (s-h) = 20%)	SPIEL 1	BKW	45	26	26	3	-	-	-	-	19,77	45,36	
		IZIFU	45	26	26	3	-	-	-	-	19,77	45,36	
		INITI	97	3	-	-	-	-	-	-	35,88	86,97	
	SPIEL 2	BKW	1	2	8	58	14	10	6	2	6,32	8,33	
		IZIFU	1	6	34	9	20	10	15	3	5,30	15,43	
		INITI	3	3	38	16	21	16	6	4,88	5,12	-	
	SPIEL 3	BKW	18	7	16	26	5	12	12	2	11,79	116,34	
		IZIFU	34	7	15	23	3	5	4	4	2	16,10	169,67
		INITI	20	15	37	23	3	1	1	1	12,34	144,54	
	DEMAN 1	IZIFU	91	5	2	2	-	-	-	-	31,26	106,39	
		INITI	100	-	-	-	-	-	-	-	42,93	118,18	
		INITI	100	-	-	-	-	-	-	-	42,93	118,18	

Tab. 34 - 2 : Häufigkeitsverteilungen der prozentualen Abweichungen von der Optimallösung im Testbereich 4

Eigenschaften des endogenen Zinsfußes nicht (SPIEL 2) oder nur in geringem Maße (SPIEL 3) ausnutzen.

Da beide Verfahren zudem mehr Rechen- und Implementierungsaufwand benötigen als die beiden klassischen Investitionsrechnerischen Vorgehensweisen SPIEL 1 und DEAN, erscheint es sehr lohnend, über verbesserte Heuristiken zur Abschätzung des endogenen Zinsfußes nachzudenken.

7.6.4.5. Testbereich 4: Die Projekte beginnen während des gesamten Planungszeitraumes; ein Vorzeichenwechsel der Zahlungsreihe; Kalkulationszinsfuß entspricht dem arithmetischen Mittel aus Soll- und Habenzinsfuß

Im Testbereich 4 wurden auch die Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten in die Planung des Handlungsprogramms mit einbezogen, die erst in späteren Zeitpunkten des Planungszeitraums beginnen. Neben den detailliert abgebildeten Handlungsmöglichkeiten existieren in jedem Zeitpunkt des Planungszeitraums wiederum Ergänzungsinvestitionen und -kredite, deren Handlungskonsequenzen in einem einheitlichen Haben- beziehungsweise Sollzins erfaßt werden.

Die Analyse des Testbereiches 4 ist deshalb von besonderem Interesse, weil es sich hierbei um ein (wenn auch sehr einfaches) finanzwirtschaftliches Totalmodell handelt, ¹⁾ das simultan alle Investitions- und Finanzierungsmaßnahmen während des Planungszeitraums bestimmt. In der Praxis würde die

¹⁾ Zum Begriff vgl. Schneider, D.; Investition und Finanzierung, S. 194

Beschaffung der für einen solchen Modellansatz benötigten Informationen allerdings auf erhebliche Schwierigkeiten treffen. "Es fällt im allgemeinen schon schwer, einigermaßen fundierte Schätzungen für die Zahlungsströme der zu Beginn des Planungszeitraums anstehenden Investitionsprojekte zu erhalten; wenn darüber hinaus verlangt wird, daß derartige Schätzungen auch für alle Investitionsprojekte vorliegen müssen, die in späteren Zeitpunkten des Planungszeitraums anlaufen, werden die zuständigen Stellen im Betrieb vermutlich in vielen Fällen überfordert." ¹⁾

Der Testbereich 4 bestand aus 6 Testfeldern. Es wurden Probleme mit Planungszeiträumen von 5 und 9 Jahren mit jeweils 100 Investitions- und 50 Finanzierungsmöglichkeiten bei alternativen Zinsdifferenzen betrachtet (vergleiche Tabelle 35). Der Restdatengenerator wurde dabei so gesteuert, daß mindestens 30 % aller Projekte im Zeitpunkt $t = 0$ begannen und die Startzeitpunkte der restlichen Projekte mit gleicher Wahrscheinlichkeit im Intervall " $t=1$ bis $t=T-1$ " lagen.

Testfeld	Planungszeitraum	Zinsdifferenz (s-h)
1	5	5 %
2	5	10 %
3	5	20 %
4	9	5 %
5	9	10 %
6	9	20 %

Tabelle 35 : Testfelder im Testbereich 4

¹⁾ Hax, H.; Investitionstheorie, S. 84 f.

Die Ergebnisse des Testbereiches 4 sollen wiederum in Themen zusammengefaßt werden. Bezüglich der getesteten Eröffnungsverfahren lassen sich folgende Aussagen machen:

- (1) Die Vorausschauregelverfahren SPIEL 2 und SPIEL 3 erzielen im Durchschnitt aller Testfelder bessere Ergebnisse als die klassische Vorgehensweise SPIEL 1 und weit bessere als die DEAN-Heuristik.
Vernachlässigt man jedoch die Testfelder 3 und 6 mit der extrem großen Zinsdifferenz von 20 %, so ist SPIEL 1 zumindest dem sehr rechenaufwendigen Verfahren SPIEL 3 überlegen. Dies gilt sowohl bezüglich des Mittelwerts wie auch in bezug auf die Varianz der Lösungsabweichungen.

- (2) Die Ergebnisse der DEAN-Heuristik sind wiederum schlechter als die der anderen drei Eröffnungsverfahren. Da DEAN durchschnittliche Lösungsabweichungen mit deutlich mehr als 5 % erzielt, erscheint es risikoreich, Kapitalbudgetierungsprobleme des hier betrachteten Typs auf der Grundlage von Kapitalangebots- und Kapitalnachfragekurven zu planen. Ein denkbarer Grund dafür liegt darin, daß das DEAN-Konzept nur die Liquiditätsbedingung in der ersten Periode erfäßt. Tabelle 36 stellt die mittleren prozentualen Lösungsabweichungen der DEAN-Heuristik bei allen untersuchten Verzinsungsmaßnahmen zusammen.

Testfeld	IZIFU	AVERA	VRNTTA	KRISO	ININTI	SPARENT
1	7,82	6,48	6,52	7,78	10,88	13,36
2	13,32	10,76	10,78	13,33	17,26	17,16
3	33,31	32,78	32,76	33,37	43,72	33,75
4	9,34	9,70	12,94	9,57	13,07	20,01
5	18,32	13,82	14,02	18,14	25,26	24,90
6	31,26	31,02	31,04	31,35	42,93	42,59

Tabelle 36 : Mittlere prozentuale Lösungsabweichung des DEAN-Eröffnungsverfahrens im Testbereich 4

Die Häufigkeitsverteilungen der prozentualen Lösungsabweichung der vier Eröffnungsverfahren für drei ausgewählte Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe stellt Tabelle 34 zusammen.

Vergleicht man die Ergebnisse in Testbereich 4 mit den entsprechenden aus Testbereich 1, so ergibt sich, daß sich die von SPIEL 3 und DEAN erzielte Lösungsgüte verschlechtert, während die Ergebnisse der beiden anderen Eröffnungsverfahren weitgehend unabhängig davon sind, ob nur heute oder auch später beginnende Projekte in die Planung mit einbezogen werden.

Eine Auswertung der Simulationsergebnisse bezüglich der verwendeten Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe ergibt im Vergleich zu Testbereich 1 nur wenige abweichende Aussagen:

- (1) Es ist auffällig, daß die Initialverzinsung in Kombination mit SPIEL 1 und DEAN schlechtere Ergebnisse erzielt als im Testbereich 1. Die Ursache dafür kann darin liegen, daß dieser Maßstab von Hax selber für die hier betrachtete Entscheidungssituation nicht definiert wurde. Der Maßstab wurde vom Verfasser daher wie folgt modifi-

ziert: Zunächst wird die Initialverzinsung jedes Projektes bezogen auf den projektindividuellen Startzeitpunkt t_1 berechnet. Ist $t_1 > 0$ so wird der ermittelte Wert auf den Beginn des Planungszeitraums $t = 0$ abgezinst.

	Testbereich 1		Testbereich 4	
	5 %	10 %	5 %	10 %
SPIEL 1-INITI	1,57	4,15	3,43	10,05
-IZITU	1,94	4,15	1,97	6,36
-AVERA	1,57	4,15	1,97	6,36

Tabelle 37 : Vergleich der durchschnittlichen prozentualen Lösungsabweichung der Initialverzinsung mit dem Internen Zinsfuß und der Average Return Rate bei Testbereich 1 und 4

(2) Während alle dynamischen Vorteilhaftigkeitsmaßstäbe im Vergleich zu Testbereich 1 eine größere, mittlere prozentuale Lösungsabweichung errechnen, erzielt die statische Rentabilität geringfügig bessere Ergebnisse. Der Einsatz dieses Kriteriums ist allerdings nur in Verbindung mit der Vorausschauregel SPIEL 2 zu empfehlen, da bei allen anderen Eröffnungsverfahren die dynamischen Verfahren geringere Lösungsabweichungen errechnen (vergleiche Tabelle 38)

Testfeld	SPIEL 1			SPIEL 2			SPIEL 3			DEAN		
	STARENT	dynam.	Maß	STARENT	dynam.	Maß	STARENT	dynam.	Maß	STARENT	dynam.	Maß
1	8,92	2,05	BKW	3,64	1,73	FWERT	14,26	2,76	BRENTA	13,36	6,48	AVERA
2	36,45	6,05	BKW	6,46	3,04	FWERT	9,01	5,04	BRENTA	17,16	10,76	AVERA
3	48,26	20,95	BKW	10,45	6,26	IZITU	19,79	12,34	BRENTA	33,75	32,78	AVERA
4	7,54	1,97	BKW	2,37	1,07	FWERT	13,82	2,84	BRENTA	20,01	9,34	IZITU
5	18,65	6,36	IZITU	4,39	4,38	BRENTA	11,68	6,67	BRENTA	24,90	13,82	AVERA
6	52,44	19,77	BKW	9,48	4,88	INITI	22,23	5,12	INITI	42,59	31,02	AVERA

Tabelle 38 : Mittlere prozentuale Lösungsabweichung der statischen Rentabilität im Vergleich zum jeweils besten dynamischen Kriterium

(3) Ordnet man die Kriterien nach der Höhe der durchschnittlich erzielten Lösungsabweichungen, so ergibt sich folgende Drei-Klasseneinteilung:

	RANG 1	RANG 2	RANG 3
SPIEL 1	BKW, BKRATE, BRENTA, IZIFU, AVERA	KRISO, INITI, FWERT	VMERT, VRENTA, STARENT
SPIEL 2	FWERT, INITI, BKW, BKRATE, BRENTA, KRISO, IZIFU	AVERA, VRENTA, VMERT, STARENT	
SPIEL 3	BKRATE, BRENTA, INITI, BKWERT, FWERT, BKW	KRISO, IZIFU, VRENTA	VMERT, STARENT
DEAN	IZIFU, KRISO, AVERA	VRENTA, INITI	STARENT

Die Rechenzeiten für das kleinste und größte im Testbereich 4 betrachtete Problem sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Problem- eigenschaf- ten	ZVOR	ZKRIT	ZRANG	ZSP1 ¹⁾	ZSP2 ¹⁾	ZSP3 ¹⁾	ZDEAN ¹⁾	APEX
100 Inv. 50 Kred. 9 Jahre	0,15	0,66	0,20	0,04	0,16	1,22	0,09	4,5
40 Inv. 20 Kred. 5 Jahre	0,04	0,14	0,03	0,02	0,06	0,22	0,03	1,0

Tabelle 39 : Repräsentative Rechenzeiten (CPU-Sekunden) im Testbereich 4

1) Die Rechenzeiten für die Eröffnungsverfahren umfassen den Parallel-
lauf aller 11 Vorteilsmabstände

Im Vergleich mit Testbereich 1 (vergleiche Tabelle 28) haben Rechenzeiten für einen Optimierungslauf im Testbereich 3 somit durchschnittlich leicht abgenommen¹⁾, während die Rechenzeiten der Heuristiken sich nicht verändert haben.

7.6.4.6. Testbereich 5: Die Projekte beginnen während des gesamten Planungszeitraums; ein Vorzeichenwechsel der Zahlungsreihe; der Kalkulationszinsfuß entspricht dem endogenen Zinsfuß der kontinuierlichen Lösung

Der Testbereich 5 entspricht in seinem Grundaufbau dem Testbereich 4. Allerdings wurden die Kalkulationszinsfüße wie im Testbereich 4 wiederum aus den Dualwerten der kontinuierlichen Optimallösung des Entscheidungsproblems abgeleitet.

Wiederum wurden drei Testfelder untersucht, bei denen die betrachteten Probleme jeweils aus 100 Investitionen und 50 Krediten bestanden. Bei einem Abstand zwischen Soll- und Habenzins von immer 20 % wurden Probleme mit Planungszeiträumen von 5, 7 und 9 Jahren generiert und gelöst.

Die Ergebnisse der Testläufe sollen wiederum in Thesen zusammengefaßt werden:

(1) Die Ergebnisse aller Eröffnungsverfahren wurden um so besser, desto länger der Planungszeitraum gewählt wurde.

(2) Die klassische Vorgehensweise SPIEL 1 ist den anderen Eröffnungsverfahren signifikant überlegen, sofern Rang-

1) Gewisse Schwankungen der Rechenzeiten ergeben sich aus den jeweiligen Problemeigenschaften sowie den unterschiedlichen Belastungen des Rechners zur Testzeit.

ordnungskriterien verwendet werden, bei deren Berechnung der "endogene Zinsfuß" verwendet wird.

(3) Die beiden Vorausschauregelverfahren dominieren bei den anderen Rangordnungskriterien und sind - im Gegensatz zum Testbereich 3 - dem Verfahren von DEAN in Kombination mit allen Kriterien signifikant überlegen. DEAN erscheint auch in Kombination mit dem endogenen Zinsfuß nicht in der Lage zu sein, Entscheidungsprobleme, bei denen die Projekte in allen Perioden des Planungszeitraums beginnen können, mit akzeptablen Ergebnissen zu lösen.

Die durchschnittlichen prozentualen Abweichungen für die 4 Öffnungsverfahren und ausgewählte Rangordnungskriterien stellt Tabelle 40 zusammen.

	T = 6 Jahre				T = 10 Jahre				
	BKW	IZIFU	INITI	BKW	IZIFU	INITI	BKW	IZIFU	INITI
SPIEL 1	2,99	20,84	3,29	2,21	19,48	2,82			
SPIEL 2	4,29	4,02	4,39	9,40	5,31	5,48			
SPIEL 3	5,88	6,81	5,88	6,64	6,11	6,17			
DEAN	-	28,08	27,75	-	33,20	34,73			

Tabelle 40 : Durchschnittliche prozentuale Abweichungen im Testbereich 5

Aufgrund der Verwendung des "endogenen", also des bei Vernachlässigung der Ganzzahligkeitsbedingungen theoretisch richtigen Kalkulationszinsfußes ist zu vermuten, daß Rangordnungskriterien, zu deren Berechnung ein Kalkulationszinsfuß notwendig ist, den anderen Vorteilhaftigkeitsmaßstäben überlegen sein werden. Die Ergebnisse bestätigen diese

Vermutung:

(1) In Kombination mit SPIEL 1 schneiden der Barkapitalwert und die darauf aufbauenden Maße Barkapitalwertrate und Barkapitalwertrentabilität signifikant besser ab als alle anderen Kriterien. Die beiden Verzinsungsmaßstäbe AVERA und INITI, die ebenfalls einen Kalkulationszinsfuß verwenden, erzielen ihrerseits ebenfalls Ergebnisse, die allen anderen Verzinsungsmaßstäben überlegen sind.

(2) Bemerkenswerterweise gilt diese Aussage für die beiden Vorausschauregelverfahren nicht. In Kombination mit diesen Öffnungsverfahren sind der Interne Zinsfuß und der Kritische Sollzinsfuß zumindestens gleichwertige Rangordnungsverfahren.

Betrachtet man die Ergebnisse im Testbereich zusammenfassend, so ist wiederum der Barkapitalwert in Kombination mit einem endogenen Kalkulationszinsfuß den anderen Entscheidungsregeln signifikant überlegen. Tabelle 41 stellt die vollständige Häufigkeitsverteilung des jeweils besten Rangordnungskriteriums mit allen 4 Öffnungsverfahren zusammen.

	10 %	5 %	4 %	3 %	2 %	1 %	0 %
SPIEL 1-BKW	1	18	11	7	15	22	26
SPIEL 2-KRISO	5	17	9	19	22	20	8
SPIEL 3-INITI	12	34	20	14	11	4	5
DEAN-VAENTA	55	21	10	6	4	4	-

Tabelle 41 : Vollständige Häufigkeitsverteilung des jeweils besten Rangordnungskriteriums mit allen Öffnungsverfahren (T = 6 Jahre)

7.6.4.7. Ergebnisse der Verfahrensevaluation für die Iterationsverfahren

Die beiden Iterationsverfahren wurden nur im Testbereich 1 auf ihre Güte hin überprüft, das heißt alle Projekte begannen zu Beginn des Planungszeitraums und es existierte nur ein Vorzeichenwechsel in den Investitionszahlungsreihen. Eine weitere Einschränkung ergibt sich daraus, daß die Iterationsverfahren nur in Verbindung mit dem Eröffnungsverfahren SPIEL 1 getestet wurden. Dieses Prioritätsregelverfahren war isoliert den beiden Vorausschaugelverfahren unterlegen, erzielte allerdings bessere Ergebnisse als DEAN 1. Diese Beschränkungen erschienen notwendig, da ein erneuter Test der Iterationsverfahren in Verbindung mit allen Eröffnungsverfahren und in allen Testbereichen sehr aufwendig gewesen wäre. ¹⁾

Die Ergebnisse lassen sich in folgenden Thesen zusammenfassen:

- (1) Die Iterationsverfahren verbessern die Lösungsgüte des Eröffnungsverfahrens SPIEL 1 erheblich. Die erzielten Verbesserungen sind desto größer, um so größer die ursprünglichen prozentualen Abweichungen des Eröffnungsverfahrens sind. Bei 20% Zinsdifferenz erzielen die Verbesserungsverfahren im Vergleich zu SPIEL 1 folgende Ergebnisse:

	BKW	BKRATE	BRENTWA	VWERT	FWERT	IZIFU	AVERA	VRENTWA	STAR.
SPIEL1	28,1	28,1	28,1	99,9	99,3	28,1	28,1	95,2	34,8
ITER 1	10,1	10,5	9,8	69,3	36,6	8,6	10,5	19,1	18,8
ITER 2	10,6	10,1	9,3	78,7	44,5	8,5	10,3	15,5	20,9

Tab. 42: Mittlere prozentuale Lösungsabweichung von SPIEL 1 im Vergleich zu ITER 1 und ITER 2 (100 Investitionen, 20 Kredite, T=9, (s-h) = 20%)

¹⁾ Die Iterationsverfahren wurden später als die Eröffnungsverfahren entwickelt und implementiert, so daß ein gleichzeitiger Test in allen Testfeldern nicht möglich war.

- (2) Bei realistischen Zinsdifferenzen von 5% oder 10% verbessern die Iterationsverfahren die Ergebnisse des Prioritätsregelverfahrens SPIEL 1 so, daß dieses Verfahren den beiden Vorausschaugelverfahren zumindestens gleichrangig ist.

	BKW	BKRATE	BRENTWA	VWERT	FWERT	IZIFU	AVERA	VRENTWA	KRISO	INTTI	SPARENT
SPIEL1	4,6	4,6	4,6	99,8	22,5	4,6	4,6	99,2	4,6	4,6	22,7
ITER 1	2,4	2,4	2,4	27,4	3,7	2,4	2,4	10,3	0,5	2,4	3,8
ITER 2	2,4	2,4	2,4	75,3	5,6	2,5	2,5	7,8	4,2	2,4	6,0
SPIEL2	3,4	3,4	3,4	4,5	3,0	3,6	3,7	4,3	3,6	3,7	4,8
SPIEL3	3,2	3,2	3,2	3,8	2,8	3,7	3,2	3,4	3,7	4,2	3,2

Tab. 43: Mittlere prozentuale Abweichungen von SPIEL 1 in Verbindung mit den Verbesserungsverfahren ITER 1 und ITER 2 im Vergleich zu den Vorausschaugelverfahren SPIEL 2 und SPIEL 3 (100 Investitionen, 50 Kredite, T = 9 Jahre, (s-h) = 10%)

- (3) Vergleicht man die beiden Iterationsverfahren untereinander, so zeigt sich, daß beide Verfahren bei der Mehrzahl der Testprobleme identische Ergebnisse erzielen. Für die restlichen Probleme ist das Verfahren ITER 1 dem Verfahren ITER 2 in der Regel überlegen; nur selten ermittelt ITER 2 den höheren Zielfunktionswert.

- (4) Es ist nicht zu erkennen (und aufgrund des Aufbaus der Eröffnungsverfahren auch nicht zu erwarten), daß die erzielten Verbesserungen von dem verwendeten Vorteilskriterium beeinflusst werden. Allerdings ist bemerkenswert, daß die an sich zu identischen Rangfolgen führenden Kriterien AVERA und INTTI beziehungsweise IZIFU und KRISO in Verbindung mit den Verbesserungsverfahren durchaus unterschiedliche Problemlösungen ermitteln können. Eine Erklärung für diesen Sachverhalt kann der Verfasser nicht geben.

Vergleicht man die Rechenzeiten der Verfahren untereinander, so ist festzustellen, daß der Rechenzeitbedarf der Iterationsverfahren etwas höher liegt als der von SPIEL 2.

ZVOR	ZKRIT	ZRANG	ZSP1	ZITER1	ZITER2	ZSP2	ZSP3
0,16	1,06	0,19	0,06	0,22	0,24	0,18	0,92

Tab 44: Rechenzeiten der Iterationsverfahren im Vergleich zu den Eröffnungsverfahren (100 Investitionen, 50 Kredite, $T = 9$ Jahre, $(s-h) = 5\%$)

Nach diesen Ergebnissen erscheint die klassische Vorgehensweise SPIEL 1 dann, wenn man sie mit gewissen Verbesserungsüberlegungen verbindet, durchaus in der Lage zu sein, auch bei dem betrachteten Problem einer simultanen Planung von Investitionen und Finanzierungen gute Ergebnisse zu erzielen.

8. Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Ableitung und Anwendung heuristischer Konzepte auf ein komplexes betriebswirtschaftliches Planungsproblem. Die Untersuchung ging dabei von der These aus, daß in der Unternehmung eine Reihe von Problemstellungen existieren, die mit den dort vorhandenen Ressourcen und bei dem heutigen Entwicklungsstand der Entscheidungstechniken¹⁾ nicht "optimal" im Sinne der Betriebswirtschaftslehre gelöst werden können.

Am Beispiel der Investitionsprogrammplanung sollte geprüft werden, ob die Entwicklung heuristischer Methoden ein gangbarer Weg ist, den Planungsaufwand zur Konstruktion und Lösung von Entscheidungsmodellen auf ein akzeptables Maß zu senken und damit die theoretischen Erkenntnisse der Praxis zugänglich zu machen.

Nachdem in der Einleitung dieses Anliegen verdeutlicht wurde, stand im Mittelpunkt des zweiten Abschnittes die Charakterisierung der Problemstellung der Investitionsprogrammplanung und der dafür von der Betriebswirtschaftslehre bisher entwickelten Entscheidungsmodelle und Lösungsverfahren. Aufgabe des dritten Abschnittes war es dann, auf der Grundlage einer Auswertung empirischer Untersuchungen mögliche Ursachen für die geringe Verbreitung von Investitionsprogrammplanungsmodellen herauszufinden. Dabei ergab sich, daß die Notwendigkeit insbesondere einer abgestimmten Investitions- und Finanzierungsprogrammplanung in der Praxis zwar

¹⁾ Zum Begriff vgl. Pfohl, H.-Ch.: Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen, a.a.O., S. 47

besteht, die von der Theorie dafür empfohlenen Entscheidungstechniken wegen ihres zu hohen personellen, zeitlichen, informativischen und technologischen Ressourcenbedarfs jedoch nicht eingesetzt werden.

In den folgenden Teilen der Arbeit wurde dann im einzelnen geprüft, inwieweit heuristische Methoden für die Investitions- und Finanzierungsprogrammplanung zu verwenden sind. Dabei wurden zwei Problemkreise unterschieden.

Der erste Problemkreis betraf die Konstruktion eines die reale Entscheidungssituation homomorph abbildenden Planungsmodells.¹⁾ Der heuristische Ansatz der Modellkonstruktion erwies sich dabei tendenziell als leistungsfähiger als Bestrebungen, algorithmisch die optimale Modellkomplexion zu bestimmen. Diese Aussage muß allerdings insofern eingeschränkt werden, als sich Heuristiken zur Modellkonstruktion noch in der Anfangsphase ihrer Entwicklung befinden und ihre Leistungsfähigkeit in der vorliegenden Arbeit aufgrund methodischer Schwierigkeiten konkret nicht nachgewiesen wurde.

Für den zweiten Problemkreis, die Lösung eines vorliegenden Planungsmodells, existieren hingegen eine Reihe heuristischer Verfahren. Bei der Erörterung dieser Verfahren im 6. Abschnitt ergab sich jedoch, daß diese Methoden zumeist nur zur Lösung einfacher Modelle geeignet sind. Beispielsweise existieren keine Heuristiken, die komplexe Modelle

1) Vgl. dazu Kirsch, W.: Entscheidungsprozesse II, a.a.O., S. 34 und Zentes, J.: Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen, a.a.O., S. 33 ff.

zur simultanen Investitions- und Finanzierungsprogrammplanung lösen können. Es besteht somit ein Dilemma: Für einfache, algorithmisch mit vertretbarem Aufwand lösbare Investitionsprogrammplanungsmodelle existieren heuristische Verfahren, während für komplexe, mit den in der Praxis verfügbaren Algorithmen kaum lösbare Problemstellungen keine Heuristiken vorhanden sind.

Als Ausweg aus diesem Dilemma wurde versucht, die in verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen (Investitionstheorie, Operations Research, Artificial Intelligence) zu findenden Ansätze zur Konstruktion heuristischer Lösungsverfahren in einem Entwurfskonzept zu verbinden, das die Grundlage für die Entwicklung effizienter Heuristiken für Investitionsprogrammplanungsprobleme bilden soll. Neben der eigentlichen Konstruktion stand dabei die Problematik der Evaluation heuristischer Verfahren im Mittelpunkt der Betrachtungen. Im Anschluß wurde das Entwurfskonzept zur Konstruktion und Evaluation einer Reihe heuristischer Lösungsverfahren für ein Problem der simultanen Investitions- und Finanzplanung verwendet. In der Verfahrensevaluation auf der Grundlage einer Computersimulation bewährten sich die getesteten Heuristiken recht gut. Die erzielten Ergebnisse sollten allerdings nicht überbewertet werden: Zum einen ist das betrachtete Investitionsprogrammplanungsmodell immer noch recht einfach strukturiert, zum anderen sind die Testresultate nur vor dem Hintergrund der verwendeten Evaluationsmethodik zu interpretieren.

Die letzte Aussage gilt generell und kann als Dilemma der heuristischen Problemlösungsmethodik bezeichnet werden: Während für Algorithmen analytisch die Ableitung optimaler Lösungen nachgewiesen werden kann, bedarf es zum Nachweis der Lösungsqualität von Heuristiken umfangreicher numeri-

scher Tests. Diese sind nicht nur sehr aufwendig, sondern es muß auch belegt werden, daß aus den Tests allgemeingültige Aussagen über die Güte des jeweiligen heuristischen Verfahrens zu gewinnen sind.

Der Aufwand zur Evaluation einer Heuristik kann daher die Vorteile dieser Verfahrensklasse gegenüber Algorithmen durchaus zunichte machen. Allerdings ist das Testproblem dann von geringerer Bedeutung, wenn ein heuristisches Verfahren direkt zur Lösung einer konkreten Problemstellung konzipiert wird.

Die gemachten Einschränkungen sollen nicht die Tatsache verdecken, daß die heuristische Problemlösungsmethodik aus pragmatischen Gründen eine attraktive Alternative zu Algorithmen bei der Lösung von Investitionsplanungsproblemen ist. Dies gilt um so mehr als die Investitionstheorie mit den dynamischen Vorteilhaftigkeitsmaßstäben über ein offenbar sehr leistungsfähiges heuristisches Konzept verfügt. Es sei nochmals das Augenmerk darauf gerichtet, daß die entsprechenden heuristischen Lösungsverfahren bei realistischen Testbedingungen überraschend gut und in Kombination mit einer Abschätzung des endogenen Zinsfußes überragend abgeschnitten haben. Verstärkte Anstrengungen zur Konstruktion heuristischer Verfahren auch für komplexere Investitionsprogrammplanungsprobleme erscheinen daher vielversprechend.

Dabei sollte das ursprüngliche Anliegen der heuristischen Problemlösungsmethodik, die Konstruktion einfacher, praxisnaher Methoden, nicht aus dem Auge verloren werden.

Literaturverzeichnis

Abdelsamad, M.A.

A Guide to Capital Expenditure Analysis, New York 1973.

Ackoff, R.L. / Sasieni, M.W.

Operations Research - Grundzüge der Operationsforschung. Stuttgart 1970

Adam, D.

Produktionsdurchführungsplanung. In: Jacob, H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre in programmierter Form, Band II: Planung und Planungsrechnung. Wiesbaden 1972, S. 329-498.

Adam, D.

Äquivalente Zielfunktionen in Modellen zur simultanen Investitions- und Finanzplanung. WISU 8. Jg. (1979), S. 179-183, 233-237 und 285-287.

Adam, D. /Witte, Th.

Merkmale der Planung in gut- und schlecht-strukturierten Planungssituationen. WISU 8. Jg. (1979), S. 380-386.

Albach, H.

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit betrieblicher Investitionen. ZfB 29. Jg. (1959), S. 419-431.

Albach, H.

Investition und Liquidität - Die Planung des optimalen Investitionsprogramms. Wiesbaden 1962.

Angermann, A.

Industrielle Planungsrechnung, Band 1: Entscheidungsmodelle. Frankfurt/Main 1963

Ashton, D.J. / Atkins, D.R.

Multicriteria Programming for Financial Planning. J. Opl. Res. Soc. Vol. 30 (1979), S. 259-270.

Ashton, D.J. / Atkins, D.R.

Horizon Valuations for Mathematical Programming in Financial Planning. J. Opl. Res. Soc. Vol. 30 (1979), S. 625-631.

Axäster, S.

Aggregation of Product Data. In: Henn, R. u.a. (Hrsg.): Operations Research Verfahren, 35, 1979, S. 29-48.

- Baan, W.
Ein zweistufiger Planungsansatz der Investitionsrechnung - Partialmodelle zur Bestimmung der optimalen Nutzungsdauer und des Restwertes von Anlagegütern als Hilfsmittel bei der Lösung simultaner Investitions-, Produktions-, Absatz- und Finanzplanungsmodelle. Diss., Hamburg 1976.
- Balas, E.
An Additive Algorithm for Solving Linear Programs with Zero-One Variables. OR Vol. 13 (1965), S. 517-549.
- Balas, E. / Martin, C.H.
Pivot and Complement - A Heuristic for 0-1 Programming. Management Science Report No. 414, Carnegie-Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania 1978
- Bamberg, G. / Coenenberg, A.G.
Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 2. Auflage, München 1977.
- Bamberg, G. / Coenenberg, A.G. / Kleine-Doeppke, R.
Zur entscheidungsorientierten Bewertung von Informationen. ZfBf 28. Jg. (1976), S. 30-42.
- Baumol, W.J. / Fabian, T.
Decomposition - Pricing for Decentralisation and External Economies. MS Vol. 11 (1964), S. 1-32.
- Beenhaker, H.L.
Discounting Indices Proposed for Capital Investment Evaluation: A Further Examination. TEE Vol. 18 (1973), S. 149-169.
- Beier, U.
Zur Anwendung heuristischer Entscheidungsmethoden bei der Bestimmung eines Konsumprogramms. ZfB 43. Jg. (1973), S. 199-224.
- Benders, J.F.
Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems. Numerische Mathematik, 4. Jg. (1962), S. 238-252.
- Benichou, M. / Gauthier, J.M. / Girodet, P. / Hentges, G. / Ribiere, G. / Vincent, O.
Experiments in Mixed-Integer Linear Programming. Mathematical Programming, Vol. 1 (1977), S. 74-94.

- Benichou, M. / Gauthier, J.M. / Hentges, G. / Ribiere, G.
The Efficient Solution of Large-Scale Linear Programming Problems - Some Algorithmic Techniques and Computational Results. Mathematical Programming, Vol. 13 (1977), S. 280-322.
- Bernado, J.J. / Lanser, H.P.
A capital budgeting decision model with subjective criteria. In: JFQA Vol. 12 (1977), S. 261-275.
- Bernhard, R.H.
Mathematical Programming Models for Capital Budgeting - A Survey, Generalization and Critique. JFQA Vol. 4 (1969), S. 111-158.
- Bernhard, R.H.
Discount Methods for Expenditure Evaluation - A Clarification of their Assumptions. The Journal of Industrial Engineering Vol. 13 (1962), S. 19-27.
- Bernhard, R.H.
A Comprehensive Comparison and Critique of Discounting Indices Proposed for Capital Investment Evaluation. TEE Vol. 16 (1971), S. 157-186.
- Berry, W.L. / Marcus, M. / Williams, J.G.
Inventory Investment Analysis Using Biased Sampling Techniques. MS Vol. 23 (1977), S. 1295-1306.
- Bey, R.P. / Porter, R.B.
An Evaluation of Capital Budgeting Portfolio Models Using Simulated Data. TEE Vol. 23 (1977), S. 41-65.
- Bhaskar, K.
Linear Programming and Capital Budgeting: The Financing Problem. JBFA Vol. 5 (1978), S. 159-194.
- Biergans, E.
Kritische Bemerkungen zur Kritik am internen Zinsfuß. Bfup 25. Jg. (1973), S. 241-261.
- Biethahn, J.
Optimierung und Simulation - Anwendung verschiedener Optimierungsverfahren auf ein stochastisches Lagerhaltungsproblem. Wiesbaden 1978.

- Biethahn, J. / Liebmann, H.P.
Die numerische Behandlung eines gemischt-ganzzahligen Investitionsproblems mit exakten und heuristischen Methoden. Zfb 42. Jg. (1972), S. 401-420.
- Biondi, E. / Schmid, R.
An Approximate Algorithm for Discrete Linear Programming. IEEE Transactions and Systems Science and Cybernetics, Vol. 5 (1969), S. 65-70.
- Bitz, M.
Äquivalente Zielkonzepte zur simultanen Investitions- und Finanzplanung. Zfbf 28. Jg. (1976), S. 485-501.
- Bitz, M.
Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle. Wiesbaden 1977.
- Bitz, M.
Der interne Zinsfuß in Modellen zur simultanen Investitions- und Finanzplanung. Zfbf 29. Jg. (1977), S. 146-162.
- Bloech, J.
Untersuchung zur Aussagefähigkeit mathematisch formulierter Investitionsmodelle mit Hilfe einer Fehlerrechnung. Diss. Göttingen 1966, 2. Kapitel.
- Blohm, H. / Lüder, K.
Investition - Schwachstellen im Investitionsbereich des Industriebetriebs und Wege zu ihrer Beseitigung. 4. Auflage. München 1978.
- Blumentrath, U.
Investitions- und Finanzplanung mit dem Ziel der Endwertmaximierung. Wiesbaden 1969.
- Born, A.
Entscheidungsmodelle zur Investitionsplanung - Ein Beitrag zur Konzeption der 'flexiblen Planung'. Wiesbaden 1976.
- Boulding, K.E.
Time and Investment. In: Economic, New Series III (1963), S. 196-214. Wiedergedruckt in: Lüder, K. (Hrsg.): Investitionsplanung. München 1977, S. 21-34.

- Brauer, K.M.
Binäre Optimierung - Untersuchung und Weiterentwicklung eines Verfahrens zur Analyse betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme bei zweitwertigen Alternativen und ökonomisch unteilbaren Objekten. Köln etc. 1969.
- Braun, G.E.
Zum Praxisbezug der Betriebswirtschaftslehre in wissenschaftstheoretischer Sicht. In: Zfbf 31. Jg. (1979), S. 468-486.
- Braun, H.
Erweiterungen des Verfahrens von Krawczyk zur Lösung des bivalenten Knapsack-Problems. AI 15. Jg. (1973), S. 25-28.
- Bretzke, W.-R.
Die Formulierung von Entscheidungsproblemen als Entscheidungsproblem. DBW 38. Jg. (1978), S. 135-143.
- Breu, R. / Budet, C.A.
Branch and Bound Experiments in Zero - One Programming. Mathematical Programming Study 2 (1974), S. 1-50.
- Brigham, E.F.
Hurdle Rates for screening Capital Expenditure Proposals. Financial Management, Autumn 1975, S. 17-26.
- Brigham, E.F. / Pettway, R.P.
Capital Budgeting by Utilities. Financial Management, Autumn 1973, S. 11-22.
- Brockhoff, K.
Planung und Prognose in deutschen Großunternehmen - Ergebnisse einer Umfrage. DB 27. Jg. (1974), H. 18, S. 838-841.
- Brockhoff, K.
Planung in mittelgroßen Industrieunternehmen - Ergebnisse einer Umfrage. Die Unternehmung, 29. Jg. (1975), S. 303-317.
- Brocklehurst, E.R.
A Heuristic Algorithm for Integer Linear Programming Problems. NPL Report NAC 18 (1972), Middlesex, England.

Bromwich, M.
Capital Budgeting - A Survey. JBF Vol. 1 (1970), S. 2-26.

Broyles, J.E.
Compact Formulation of Mathematical Programs for Financial Planning Problems. OR Quarterly Vol. 27 (1976), S. 885-893.

Brucker, P.
Ganzzahlige lineare Programmierung mit ökonomischen Anwendungen. Weisenheim am Glan 1975.

Brucker, P.
Anmerkungen zu heuristischen Verfahren. Proceedings in Operations Research 6. Würzburg-Wien 1977, S. 669-674.

Brucker, P.
NP-Complete Operations Research Problems and Approximation Algorithmen. ZOR Bd. 23 (1979), S. 73-94.

Buchner, R. / Weinreich, J.
Zur Frage des rechenstechnischen Problems der Mehrdeutigkeit des internen Zinsfußes - Stellungnahme zum Vorschlag von H. Meyer zur Behebung der Mehrdeutigkeit des internen Zinsfußes. Zfbf 31. Jg. (1979), S. 128-136.

Budde, A.
Die Organisationsstruktur von Investitionsentscheidungen in Unternehmen - Ergebnisse einer explorativen empirischen Erhebung. Frankfurt/M. 1979.

Bühler, W.
Investitions- und Finanzplanung bei qualitativer Information. Unveröffentlichte Habilitationsschrift TH Aachen 1976.

Bumba, F.
Simultane Produktions- und Investitionsprogrammplanung im Anlagenbau mit Hilfe der linearen Planungsrechnung - Eine empirische Untersuchung. Diss. Erlangen-Nürnberg 1974.

Bumba, F.
Ein Modellsystem der Produktions- und Investitionsprogrammplanung mit linearer Planungsrechnung. ZOR Bd. 21 (1977), S. B 177-196.

(Der) Bundesminister für Bildung und Wissenschaft (Hrsg.)
Methoden der Prioritätsbestimmung III - Methoden zur Prioritätsbestimmung innerhalb der Staatsaufgaben, vor allem im Forschungs- und Entwicklungsbereich. Schriftenreihe Forschungsplanung 5. Bonn 1971.

Burckhard, R.E.
Methoden der ganzzahligen Optimierung. Wien 1972.

Burton, R.M. / Damon, W.W.
Budgets for integrating decentralised investment and production planning. OMEGA Vol. 7 (1979), S. 113-117.

Burton, R.M. / Damon, W.W. / Obel, B.
An organizational model of integrated budgeting for short-run operations and long-run investments. J. Opt. Res. Soc. Vol. 30 (1979), S. 575-585.

Chambers, D.
The Joint Problem of Investment and Financing. OR quarterly Vol. 22 (1971), S. 261-295.

Charnes, A. / Cooper, W.W. / Miller, M.H.
Application of Linear Programming to Financial Budgeting and the Costing of Funds. JOB Vol. 32 (1959), S. 20-64.

Chatfield, Ch.
Statistics for technology. London 1976.

Christofides, N.
Worse-case analysis of a new heuristic for the travelling salesman problem. SIDA Carnegie-Mellon University 1976.

Christy, G.A.
Capital Budgeting - Current Practise and their Efficiency. Ph.D. Thesis University of Oregon 1966.

Clauss, G. / Ebner, H.
Grundlagen der Statistik. Frankfurt-Zürich 1971.

Control Data Corporation. APEX III Reference Manual, Version 1.1, 1977.

Cornuejols, G. / Nemhauser, G.L.
Tight Bounds for Christofides Travelling Salesman Heuristic. MP Vol. 14 (1978), S. 116-121.

Crowder, H.P. / Dembo, R.S. / Mulvey, J.M.
Reporting Computational Experiments. MP Vol. 15
(1978), S. 311-329.

Crum, R.L. / Klingman, D.D. / Tavis, L.A.
Implementation of Large-Scale Financial Planning Models:
Solution Efficient Transformations. JFOA Vol. 14
(1979), S. 137-152.

Cyert, R.M. / de Groot, M.H. / Holt, C.A.
Sequential Investment Decisions with Bayesian Learning.
MS Vol. 24 (1977), S. 712-718.

Czeranowsky, G. / Strutz, H.
Ergebnisse einer empirischen Untersuchung über Unter-
nehmensziele. SzU Bd. 11 (1970), S. 121-124.

Dakin, R.J.
A Tree-Search Algorithm for Mixed Integer Programming
Problems. The Computer Journal, Vol. 8 (1963),
S. 250-255.

Dannenbring, D.G.
The Evaluation of Heuristic Solution Procedure for Large
Combinatorial Problems. Diss. Columbia University 1973.

Dannenbring, D.G.
Procedures for Estimating Optimal Solution Values for
Large Combinatorial Problems. MS Vol. 23 (1977),
S. 1273-1283.

Dantzig, G.B.
Lineare Programmierung und Erweiterungen. Berlin-Heidel-
berg-New York 1966.

Dantzig, G. / Wolfe, P.
The decomposition algorithm for linear programming.
Econometrica Vol. 29 (1961), S. 767-778.

Dean, B.V. / Nishry, M.J.
Scoring and Profitability Models for Evaluating and
Selecting Engineering Projects. OR Vol. 13 (1965),
S. 550-569.

Dean, J.
Capital Budgeting. 1th Printing New York/London 1951.

Dean, J.
Kapitalbudgetierung und Investitionsprogramm.
SzU Bd. 4 (1968), S. 63-76.

Dembo, R.S. / Mulvey, J.M.
On the Analysis and Comparison of Mathematical Pro-
gramming Algorithms and Software. In: White, W.W. (ed):
Computers and Mathematical Programming. Gathiersburg
1976, S. 106-116.

Dinkelbach, W.
Zum Problem der Produktionsplanung in Ein- und Mehrpro-
duktunternehmen. Würzburg-Wien 1964.

Dinkelbach, W.
Sensitivitätsanalyse und parametrische Optimierung.
Berlin-Heidelberg-New York 1969.

Dinkelbach, W.
Modell - ein isomorphes Abbild der Wirklichkeit? In:
Grochla, E. / Szyperski, N. (Hrsg.): Modell- und compu-
tergestützte Unternehmensplanung. Wiesbaden 1973,
S. 152-162.

Domsch, M.
Simultane Personal- und Investitionsplanung im Produk-
tionsbereich. Bielefeld 1970.

Domschke, W.
Die Planung von Versorgungssystemen - Anmerkungen zu
drei Aufsätzen. ZfB 48. Jg. (1978), S. 484-489.

Dreyer, A.
Scoring-Modelle bei Mehrfachzielsetzungen - Eine Analyse
des Entwicklungsstandes von Scoring-Modellen. ZfB
44. Jg. (1974), S. 255-274.

Dreyer, A.
Nutzwertanalyse als Entscheidungsmodell bei mehrfacher
Zielsetzung. Diss. Hamburg 1975.

Drukarczyk, J.
Investitionstheorie und Konsumpräferenz - Ein Beitrag
zur expliziten Berücksichtigung der Entnahmen (Konsum-
ausgaben) im optimalen mehrperiodigen Investitionspro-
gramm des Unternehmers. Berlin 1970.

- Drukarczyk, J.
Probleme individueller Entscheidungsrechnung - Kritik ausgewählter normativer Aussagen über individuelle Entscheidungen der Investitions- und Finanzierungstheorie. Wiesbaden 1975.
- Dück, W.
Diskrete Optimierung. Braunschweig 1977
- Dück, W. / Bielefornich, M.
Operationsforschung - Mathematische Grundlagen, Methoden, Modelle; Band 2. Berlin 1972.
- Echols, R.E. / Cooper, I.
Solution of Integer Linear Programming Problems by Direct Search. JACM Vol. 15 (1968), S. 75-84.
- Eckel, U.
Die Berücksichtigung des Risikos in Modellen zur Investitionsprogrammplanung unter Einbeziehung neuerer Entwicklungen. Unveröffentlichte Diplomarbeit Technische Universität Berlin (Prof. Dr. L. Kruschwitz), 1979.
- Eckenrode, R.T.
Weighting Multiple Criteria. MS Vol. 12 (1965), S. 180-192.
- Eisenführ, F.
Die Wissenschaft vom vernünftigen Handeln. DBW 38. Jg. (1978), S. 435-448.
- Emmert, P.
Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschine-Kommunikationssystem. Diss. Nürnberg-Erlangen 1974.
- Esch, M.E.
Planungshilfe mittels eines technischen Bewertungsverfahrens von Relevanzzahlen - PATERN. In: Naschold, F. / Váth, W. (Hrsg.): Politische Planungssysteme. Opladen 1973, S. 444-460.
- Esser, W.M. / Kirsch, W.
Die Einführung von Planungs- und Informationssystemen - Ein empirischer Vergleich. München 1979,

- Everett, H.
Generalized Lagrange Multiplier Method for Solving Problems of Optimum Allocation of Resources. OR Vol. 11 (1963), S. 399-417.
- Fabozzi, F.J.
The Use of Operational Research Techniques for Capital Budgeting Decisions - a Sample Survey. J. Opl. Soc. Vol. 29 (1978), S. 39-42.
- Fandel, G.
Optimale Entscheidung bei mehrfacher Zielsetzung. Berlin-Heidelberg-New York 1972.
- Feigenbaum, E.A. / Feldman, J.
Computers and Thought: A Collection of Articles. New York-San Francisco 1963.
- Fischer, J. / Kruschwitz, L.
Methodische Probleme bei der Evaluation heuristischer Lösungsverfahren. Diskussionspapier 52 des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Berlin. Berlin 1979.
- Fleischmann, B.
Eine primale Version des Bender'schen Dekompositionsverfahrens und seine Anwendung in der gemischt-ganzzahligen Optimierung. In: Collatz, L. / Wetterling, W. (Hrsg.): Numerische Mathematik bei Optimierungsaufgaben, 1973, S. 37-49.
- Förstner, K. / Henn, R.
Dynamische Produktions-Theorie und Lineare Programmierung. Meisenheim/Glan 1957.
- Fogler, R.H.
Ranking Techniques and Capital Budgeting. Accounting Review, Vol. 47 (1972), S. 134-143.
- Fogler, R.H.
Overkill in Capital Budgeting Technique. Financial Management Vol. 1 (1972), S. 92-96.
- Forrest, J.J.H. / Hirst, J.A. / Tomlin, J.A.
Practical solution of large mixed integer problems with UMPIRE. MS Vol. 20 (1974), S. 736-773.

- Franke, G.
Mittelbarer Parametervergleich als Entscheidungskalkül -
Illusionen durch konventionsbedingte Rangordnungen.
Zfbf 30. Jg. (1978), S. 431-452.
- Franke, G. / Laux, H.
Die Ermittlung der Kalkulationszinsfüße für investitions-
theoretische Partialmodelle. Zfbf 20. Jg. (1968),
S. 740-759.
- Fremgen, J.M.
Capital Budgeting Practises - A Survey. Management
Accounting. May 1973, S. 19-25.
- Frese, E.
Heuristische Entscheidungsstrategien der Unternehmens-
führung. Zfbf 23. Jg. (1971), S. 283-307.
- Frischmuth, G.
Daten als Grundlage für Investitionsentscheidungen -
Theoretische Anforderungen und praktische Möglichkeiten -
der Datenermittlung im Rahmen des Investitionspolitischen
Entscheidungsprozesses. Berlin 1969.
- Fromm, A.
Nichtlineare Optimierungsmodelle - Ausgewählte Ansätze,
Kritik und Anwendung. Frankfurt/M. 1975.
- Gäfigen, G.
Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung. 3. Aufl.
Tübingen 1974.
- Galtanides, M.
Planungsmethodologie - Vorentscheidungen bei der Formu-
lierung integrierter Investitionsplanungsmodelle. Berlin
1979.
- Gallus, G.
Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung allgemeiner
ganzzahliger linearer Planungsprobleme. ZOR Bd. 20
(1976), S. 89-104.
- Garey, M.R. / Johnson, D.S.
Approximation Algorithms for Combinatorial Problems:
An Annotated Bibliography. In: Traub, J. (ed): Algorithms
and Complexity. New York 1976, S. 41-52.

- Garfinkel, R. / Nemhauser, G.L.
Integer Programming. New York 1972.
- Gauthier, J.M. / Ribiere, J.M.
Experiments in Mixed-Integer Linear Programming Using
Pseudo Costs. Mathematical Programming, Vol. 12
(1977), S. 26-47.
- Gearing, C.E. / Swart, W.W. / Var, T.
Determining the optimal investment policy for the
tourism of a development country. MS Vol. 20
(1973), S. 487-497.
- Geoffrion, A.M.
An Improved Implicit Enumeration Approach for Integer
Programming. OR Vol. 17 (1969), S. 437-454.
- Geoffrion, A.M.
Generalized Benders Decomposition. Journal of
Optimization Theory and Applications. Vol. 10 (1974),
S. 237-260.
- Geoffrion, A.M.
The Purpose of Mathematical Programming is Insight,
not Numbers. Interfaces Vol. 7(1976), S. 81-92.
- Geoffrion, A.M.
Aggregation Theory and its Application to Modeling in
Mathematical Programming. In: Western Management Science
Institute (University of California, Los Angeles). Wor-
king Paper No. 278. Los Angeles 1977.
- Geoffrion, A.M. / Marsten, R.E.
Integer Programming Algorithms: A Framework and State-
of-the Art Survey. MS Vol. 18 (1972), S. 465-491.
- Geoffrion, A.M. / Graves, G.W.
Multicommodity distribution system design by Benders
decomposition. MS Vol. 20 (1974), S. 822-844.
- Gershetski, G.W.
Corporate Models - The State of the Art. MS Vol. 16
(1970), S. B 303-312.
- Geschka, H.
Implementierungsprobleme bei der Anwendung von Ideen-
findungsmethoden in der Praxis der Unternehmen. In:

Pfohl, H.Ch. / Rürup, R. (Hrsg.): Anwendungsprobleme moderner Planungs- und Entscheidungstechniken. Königstein/Ts. 1979, S. 159-171.

Gilman, I.J. / Forrester, J.R.
A survey of Capital Budgeting Techniques used by major US Firms. Financial Management, Summer 1977, S. 66-71.

Göbler, R.
Operations-Research-Praxis - Einsatzformen und Ergebnisse. Wiesbaden 1974.

Götzen, G. / Kirsch, W.
Problemfelder und Entwicklungstendenzen der Planungspraxis. ZfbF 31. Jg. (1979), S. 162-194.

Gomory, R.E.
Outline of an Algorithm for Integer Solutions to Linear Programs. Bulletin of the American Mathematical Society Vol. 64 (1958), S. 275-278.

Gorry, G.A. / Wolsey, L.A.
Relaxation Methods for Pure and Mixed Integer Programming Problems. MS Vol. 18 (1972), S. 229-239.

Grabbe, H.-W.
Investitionsrechnung in der Praxis - Ergebnisse einer Unternehmensbefragung. Köln 1976.

Greenberg, H.
Integer Programming. New York 1971.

Grundmann, H.-R.
Optimale Investitions- und Finanzplanung unter Berücksichtigung der Steuern. Diss. Hamburg 1973.

Rosenhead, J. / Gupta, S.K.
Robustness in sequential investment. MS Vol. 15 (1968), S. B 18-29.

Gutenber, E.
Untersuchungen über die Investitionsentscheidungen industrieller Unternehmen. Köln 1959.

Gutenber, E.
Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre.
Band I: Die Produktion. 22. Aufl. Berlin-Heidelberg, New York 1976.
Band II: Der Absatz. 16. Aufl. Berlin-Heidelberg-New York 1979.
Band III: Die Finanzen. 7. Aufl. Berlin-Heidelberg-New York 1975.

Haberstock, L.
Einige kritische Bemerkungen zur Kapitalwertmethode - Stellungnahme zu dem gleichnamigen Aufsatz von E. Hosterbach. ZfB 41. Jg. (1971), S. 285-288.

Haberstock, L.
"Kapitalwert oder Interner Zinsfuß?" Stellungnahme zu dem Aufsatz von E. Hosterbach. ZfB 42. Jg. (1972), S. 216-218.

Hadley, G.
Nichtlineare und dynamische Optimierung. Würzburg-Wien 1969.

Haegert, L. / Wittmann, F.
Zur Eignung der Amortisationsdauer als Kriterium für Investitionsentscheidungen bei unsicheren Erwartungen. ZfbF 29. Jg. (1977), S. 475-489.

Hamilton, W.F. / Moses, M.A.
An Optimization Model for Corporate Financial Planning. OR Vol. 21 (1973), S. 677-691.

Hammond, J.S.
Do's & don'ts of computer models for planning. HBR Vol. 52 (1974), S. 110-123.

Hansen, H.R.
Einsatzmöglichkeiten von computergestützten Planungs- und Entscheidungstechniken in der Wirtschaft. In: Pfohl, H.C. / Rürup, B.: Anwendungsprobleme moderner Planungs- und Entscheidungstechniken. Königstein/Ts. 1979, S. 79-97.

Hansmann, K.-W.
Entscheidungsmodelle zur Standortplanung. Diss. Hamburg 1972.

- Hansmann, K.-W.
Ganzzahlige Optimierung. WISU 4. Jg. (1975),
S. 6-10, 56-60, 105-107.
- Hansmann, F.
Operations Research Techniques for Capital Investment.
2. ed. New York-London-Sydney 1974.
- Hansmann, F.
Einführung in die Systemforschung - Methodik der modell-
gestützten Entscheidungsvorbereitung. München 1978.
- Hauschildt, J.
Entscheidungsziele - Zielbildung in innovativen Ent-
scheidungsprozessen: Theoretische Ansätze und empirische
Prüfung. Tübingen 1977.
- Hax, A.C.
Hierarchical Planning Systems - A Production Application.
In: Pötzeneder, H. (Hrsg.): Computergestützte Unter-
nehmensplanung. Stuttgart 1977, S. 103-136.
- Hax, H.
Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen
Programmierung. Zfbf 16. Jg. (1964), S. 430-446.
- Hax, H.
Bewertungsprobleme bei der Formulierung von Zielfunk-
tionen für Entscheidungsmodelle. Zfbf 19. Jg. (1967),
S. 749-761.
- Hax, H.
Zur Verbindung von Zustandsbaumverfahren und Chance-
Constrained Programming in Entscheidungsmodellen der
Kapitalbudgetierung. In: Albach, H. / Simon, H. (Hrsg.):
Investitionstheorie und Investitionspolitik privater
und öffentlicher Unternehmen. Wiesbaden 1976, S. 123-144.
- Hax, H.
Investitionstheorie. 4. Aufl. Würzburg-Wien 1979
- Hax, H. / Laux, H.
Investitionstheorie. In: Menges, G. (Hrsg.): Beiträge
zur Unternehmensforschung. Würzburg-Wien 1969, S. 227-
284.

- Hax, H. / Laux, H.
Flexible Planung - Verfahrensregeln und Entscheidungs-
modelle für die Planung bei Ungewißheit. Zfbf 24.
Jg. (1972), S. 318-340.
- Hax, H. / Laux, H.
Entscheidungen über Investitionsprogramme auf der Grund-
lage von Kapitalwert und internem Zinsfuß. In: Lüder,
K. (Hrsg.): Investitionsplanung. München 1977, S. 205-
216.
- Hayes, R.H.
Qualitative Insight from Quantitative Methods. HBR
Vol. 47 (1979), S. 108-117.
- Hederer, G.
Die Motivation von Investitionsentscheidungen in der
Unternehmung - Eine verhaltenswissenschaftliche Studie.
Meisenheim am Glan 1971.
- Heinen, E.
Zur Problembezogenheit von Entscheidungsmodellen.
Wist (1972), S. 3-7.
- Heinen, E.
Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre. In: der-
selbe (Hrsg.): Industriebetriebslehre - Entscheidungen
im Industriebetrieb. 5. Aufl. Wiesbaden 1976.
- Heinen, E.
Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirt-
schaftslehre. München 1976.
- Heinhold, M. / Nische, C. / Papadopoulos, G.
Empirische Untersuchung von Schwerpunkten der OR-Praxis
in 525 Industriebetrieben der BRD. ZOR Bd. 22 (1978),
S. B 185 - B 218.
- Hellwig, K.
Die Lösung ganzzahliger Investitionstheoretischer Total-
modelle durch Partialmodelle. In: Mathematical Systems
in Economics 4. Hrsg. von G. Bamberg u.a. Meisenheim am
Glan 1973.
- Hellwig, K.
Die Theoreme von Everett und die Lösung ganzzahliger
Investitionsprogramme. Proceedings in Operations
Research 3. Würzburg-Wien 1974, S. 373-374.

- Hellwig, K.
Mehrstufige Unternehmensplanung. Meisenheim am Glan 1976.
- Hellwig, K.
Die approximative Bestimmung optimaler Investitionsprogramme mit Hilfe der Kapitalwertmethode. ZfbF 28, Jg. (1976), S. 166-171.
- Henke, M.
Vermögensrentabilität - ein einfaches dynamisches Investitionskalkül. ZfbF 43. Jg. (1973), S. 177-198.
- Herröelen, W.
heuristische Programmatie - methodologische benadering en Praktische toepassing op complexe combinatorische problemen. Diss. Leuven 1972.
- Herröelen, W.S.
Heuristic Programming in Operations Management. Die Unternehmung 26. Jg. (1972), S. 213-231.
- Herröelen, W.S.
Heuristic Methods for the Multidimensional O/1 Knapsack Problem. Economic appliquee, Vol. 27 (1974), S. 353-371.
- Hertz, D.B.
Risk Analysis in Capital Investment. HBR Vol. 42 (1964), S. 95-106.
- Hertz, D.B.
Investment Policies that pay off. HBR Vol. 46 (1968), S. 96-108.
- Hettich, G.O.
Entscheidungsprinzipien und Entscheidungsregeln bei mehrfacher Zielsetzung. Wist 7. Jg. (1978), S. 484-487.
- Hillier, F.S.
Efficient Heuristic Procedures for Integer Programming with an Interior. OR Vol. 17 (1969), S. 600-637.
- Hilke, W.
Zielorientierte Produktions- und Programmplanung. Darmstadt 1978.

- Honko, J.
Investitionsentscheidungen und ihre Verbindung mit dem Planungs- und Kontrollprozess - eine empirische Untersuchung finnischer Unternehmen. ZfbF 37. Jg. (1967), S. 423-436.
- Honko, J.
Zum Investitionsverhalten finnischer Industrieunternehmen. ZfbF 29. Jg. (1977), S. 463-474.
- Honko, J. / Virtanen, K.
The Investment Process in Finnish Industrial Enterprises. Helsinki 1975.
- Hosterbach, E.
Einige kritische Bemerkungen zur Kapitalwertmethode. ZfbF 40. Jg. (1970), S. 613-620.
- Hosterbach, E.
"Kapitalwert oder Interner Zinsfuß?" Gleichzeitig eine Entgegnung an Dr. L. Haberstock. ZfbF 42. Jg. (1972), S. 201-216.
- Hosterbach, E.
Noch einmal: "Kapitalwert oder Interner Zinsfuß?" Ein Schlusswort. ZfbF 42. Jg. (1972), S. 376-377.
- Hu, T.C.
Integer Programming and Network Flows. Reading 1969.
- Huber, P.
Zur Problematik der Formulierung entnahmestromorientierter Zielfunktionen von integrierten Investitions-, Finanzierungs- und Produktionsplanungsmodellen. Wien 1977.
- Hulst, van, W.G. / Lieshout, van, J.T.
Investment/Financial Planning with endogenous Lifetimes: A Heuristic Approach to Mixed-Integer Programming. RAIRO Vol. 11 (1977), S. 85-101.
- Ibaraki, T. / Ohashi, T. / Mine, H.
A Heuristic Algorithm for Mixed-Integer Programming Problems. Mathematical Programming Study 2 (1974), S. 115-136.

- Ibarra, O.H. / Kim, C.E.
Fast Approximation Algorithms for the Knapsack and Sum of Subset Problems. JACM Vol. 22 (1975), S. 463-468.
- Ignall, E.J. / Kolesar, P.
Using Simulation to Develop and Validate Analytic Models: Some Case Studies. Operations Research, Vol. 26 (1978), S. 237-253.
- Ignizio, J.P.
On the Establishment of Standards for Comparing Algorithms Performance. INTERFACES Vol. 2 (1971), S. 8-11.
- Ignizio, J.P. / Wyskida, J.R. / Wilhelm, M.R.
A Rationale for Heuristic Program Selection and Evaluation. Industrial Engineering Vol. 4 (1972), S. 16-20.
- Ijiri, Y. / Levy, F.K. / Lyon, R.C.
A Linear Programming Model for Budgeting and Financial Planning. The Journal of Accounting Research, Vol. 1 (1963), S. 198-212.
- Ijiri, Y.
Fundamentals Queries in Aggregation Theory. Journal of the American Statistical Association Vol. 66 (1971), S. 766-782.
- Imboden, C. / Leibundgut, A. / Siegenthaler, P.
Klassifikation heuristischer Prinzipien - Ein methodologischer Beitrag zur Entwicklung von heuristischen Verfahren. Die Unternehmung 32. Jg. (1978), S. 295-330.
- Isermann, H.
Strukturierung von Entscheidungsprozessen bei mehrfacher Zielsetzung. OR Spektrum Bd. 1 (1979), S. 3-26.
- Istvan, D.F.
Capital Expenditure Decisions: How they are made in Large Corporations. Ph.D. Thesis Indiana University, Bloomington 1961.
- Jacob, H.
Produktionsplanung und Kosten Theorie. In: Koch, H.: Zur Theorie der Unternehmung - Festschrift zum 65. Geburtstag von Erich Gutenberg. Wiesbaden 1962, S. 205-268.
- Jacob, H.
Neuere Entwicklungen der Investitionsrechnung. ZfB 34. Jg. (1964), S. 487-507 und S. 551-594; Wiedergedruckt in: derselbe: Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung. 2. Aufl. Wiesbaden 1971, S. 9-72.
- Jacob, H.
Flexibilitätsüberlegungen in der Investitionsrechnung. ZfB 37. Jg. (1967), S. 1-34.
- Jacob, H.
Zum Problem der Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen. ZfB 37. Jg. (1967), S. 153-187.
- Jacob, H.
zur Standortwahl der Unternehmung. In: Alweil, K. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Strukturfragen - Festschrift zum 65. Geburtstag von K. Henzler. Wiesbaden 1967, S. 235-293.
- Jacob, H.
Investitionsplanung mit Hilfe der Optimierung. SZU Bd. 4 (1968), S. 93-115.
- Jacob, H.
Preispolitik. 2. Aufl. Wiesbaden 1967.
- Jacob, H.
Zur optimalen Planung des Investitionsprogramms bei Einzelfertigung. ZfB 41. Jg. (1971), S. 491-516.
- Jacob, H.
Die Planung des Produktions- und Absatzprogramms. In: derselbe (Hrsg.): Industriebetriebslehre in programmierter Form. Band II: Planung und Planungsrechnung. Wiesbaden 1972, S. 39-260.
- Jacob, H.
IP-Modelle der Investitionsplanung. WiStu 2. Jg. (1973), S. 210-213, 260-265, 310-316, 361-364.
- Jacob, H.
Unsicherheit und Flexibilität - Zur Theorie und Planung bei Unsicherheit. ZfB 44. Jg. (1974), S. 299-326, S. 403-448, S. 505-526.

- Jacob, H.
Die Anwendung der gemischt-ganzzahligen Programmierung auf Investitionsprobleme in der Erdölindustrie. In: derselbe: Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung. 3. Aufl. Wiesbaden 1976, S. 137-167.
- Jacob, H. / Karrenberg, R.
Die Bedeutung von Wahrscheinlichkeitsintervallen für die Planung bei Unsicherheit. ZfB 47. Jg. (1977), S. 673-696.
- Jaensch, G.
Betriebswirtschaftliche Investitionsmodelle und praktische Investitionsrechnung. ZfB 19. Jg. (1967), S. 48-57.
- Jeroslow, R.G. / Smith, T.H.C.
Experimental Results on Hillier's Linear Search. Mathematical Programming Vol. 9 (1975), S. 371-376.
- Johnson, E.L.
The group theoretic problem for mixed integer programming. In: Balinski, M.L.: Approaches to Integer Programming. Amsterdam 1974.
- Kästing, H.
Verfahren zur Lösung des Knapsackproblems. Diss. Darmstadt 1977.
- Kall, P.
Zusammenhang zwischen Dynamischer Programmierung und Branch & Bound. In: Weinberg, F. (Hrsg.): Branch and Bound: Eine Einführung. 2. geänderte Aufl. Berlin-Heidelberg-New York 1973, S. 75-89.
- Kammerdiener, R.
Weiterentwicklung des Systems der allgemeinen Rechenregeln von Kruschwitz für die Endwert- und Entnahmemaximierung. Diplomarbeit am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Freien Universität Berlin (Prof. Bareis) 1978.
- Kaplan, S.
Solution of the Lorie-Savage and Similar Integer Programming Problems by the Generalized Lagrange Multiplier Method. OR Vol. 14 (1966), S. 1130-1136.
- Kappler, E. / Rehkugler, H.
Kapitalwirtschaft. In: Heinen, E.: Industriebetriebslehre, a.a.O., S. 660-765.
- Karp, R.M.
The Probabilistic Analysis of some Combinatorial Search Algorithms. In: Traub, J. (ed.): Algorithms and Complexity: Recent Results and New Directions. New York 1976, S. 1-19.
- Kastning, C. (ed.)
Integer Programming and Related Areas - A Classified Bibliography.
Band I: Berlin, Heidelberg, New York 1976.
Band II: Berlin, Heidelberg, New York 1978.
- Kern, W.
Investitionsrechnung. Stuttgart 1974.
- Kilger, W.
Zur Kritik am internen Zinsfuß. ZfB 35. Jg. (1965), S. 338-353.
- Kilger, W.
Optimale Produktions- und Absatzplanung - Entscheidungsmodelle für den Produktions- und Absatzbereich industrieller Betriebe. Opladen 1973.
- Kirsch, W.
Entscheidungsprozesse.
Band I: Verhaltenswissenschaftliche Ansätze der Entscheidungstheorie. Wiesbaden 1970.
Band II: Informationsverarbeitungstheorie des Entscheidungsverhaltens. Wiesbaden 1971.
Band III: Entscheidungen in Organisationen. Wiesbaden 1971.
- Kirsch, W.
Die verhaltenswissenschaftliche Fundierung der Betriebswirtschaftslehre. Wist 3. Jg. (1974), S. 459-463.
- Kirsch, W.
Betriebswirtschaftslehre - Systeme, Entscheidungen, Methoden. Wiesbaden 1974.
- Kirsch, W. / Bamberger, I. / Gabele, E. / Klein, H.K.
Betriebswirtschaftliche Logistik - Systeme, Entscheidungen, Methoden. Wiesbaden 1973.

- Klammer, Th.L.
A Study of the Association of Capital Budgeting Techniques with Firm Performance and Firm Characteristics. Ph.D. Thesis University of Wisconsin 1971.
- Klammer, Th.L.
Empirical Evidence of the Adoption of Sophisticated Capital Budgeting Techniques. JOB Vol. 45 (1972), S. 387-397.
- Klein, H.-C.
Heuristische Entscheidungsmodelle - Neue Techniken des Programmierens und Entscheidens für das Management. Wiesbaden 1971.
- Klinger, K.
Das Schwächebild der Investitionsrechnungen. DB 17. Jg. (1964), S. 1821-1824.
- Klingman, D. / Napier, A. / Stutz, J.
NETGEN: A Program for Generating Large-Scale Assignment, Transportation and Minimum Cost Flow Network Problems. MS Vol. 20 (1974), S. 814-820.
- Knappek, S.
Der Einsatz heuristischer Verfahren in der gemischt-ganzzahligen Investitions- und Finanzierungsplanung. Diss. Wien 1977.
- Knochenberger, G.A. / McCarl, B.A. / Wyman, F.P.
A Heuristic for General Integer Programming. Decision Science Vol. 5 (1974), S. 36-44.
- Koch, H.
Betriebliche Planung. Wiesbaden 1961, S. 16.
- Köcher, D. / Matt, G. / Oertel, C. / Schneeweiß, H.
Einführung in die Simulationstechnik. Frankfurt 1972.
- Köhler, R.
"Inexakte Methoden" in der Betriebswirtschaftslehre. In: Ulrich, H. (Hrsg.): Zum Praxisbezug der Betriebswirtschaftslehre in wissenschaftstheoretischer Sicht. Bern-Stuttgart 1976, S. 153-169.
- Koenig, J.W.
Dynamische Optimierungsmodelle der chemischen Industrie. Diss. Hamburg 1968.

- Körth, H. / Otto, C. / Runge, W. / Schoch, M.
Mathematik für ökonomische und ingenieurökonomische Fachrichtungen. Teil I: Mathematische Grundlagen. Berlin 1971.
- Korbut, A. / Finkelstein, J.
Diskrete Optimierung. Berlin 1971.
- Kornai, J. / Liptak, T.
Two-Level planning. Econometrica Vol. 33 (1965), S. 141-169.
- Korte, B.
Ganzzahlige Programmierung - ein Überblick. In: Beckmann, M.: Unternehmensforschung heute. Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Systems 50. Berlin, Heidelberg, New York 1971, S. 61-127.
- Korte, B.
Approximative Algorithms for Discrete Optimization Problems. Report No. 7762-OR des Instituts für Ökometrie und Operations Research der Universität Bonn 1979
- Kortzfleisch, G.
Systematik der Produktionsmethoden. In: Jacob, H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre in programmierter Form. Bd. 1. Wiesbaden 1971, S. 119-205.
- Kosiol, E.
Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen. ZfH 13. Jg. (1961), S. 318-334.
- Kraun, R.
Sequentielles Chance-Constrained-Programming als Instrument der flexiblen Planung. Weisenheim 1977.
- Krause, W.
Investitionsrechnungen und unternehmerische Entscheidungen. Berlin 1973.
- Krawczyk, R.
Die Anwendung der dynamischen Optimierung auf ein verallgemeinertes Knapsack-Problem. AI 14. Jg. (1972), S. 34-36.

- Krawczyk, R.
Ein Verfahren zur Lösung des bivalenten Knapsackproblems. AI 14. Jg. (1972), S. 223-228.
- Krekö, B.
Lehrbuch der linearen Optimierung. 5. Aufl. Berlin 1970.
- Kreuzberger, H.
Verfahren zur Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme. Diss. Darmstadt 1969.
- Kreuzberger, H.
Ein Näherungsverfahren zur Bestimmung ganzzahliger Lösungen bei linearen Optimierungsproblemen. APF 9. Jg. (1969), S. 137-152.
- Kreuzberger, H.
Numerische Erfahrungen mit einem heuristischen Verfahren zur Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme. EDV 12. Jg. (1970), S. 289-306.
- Kreyszig, E.
Statistische Methoden und ihre Anwendungen. 3. Auflage Göttingen 1970.
- Kruschwitz, L.
Eigenerzeugung oder Beschaffung? Eigenverwendung oder Absatz? Zweckmäßige Optimierungsmethoden für industrielle Entscheidungsalternativen. Berlin 1971.
- Kruschwitz, L.
Zur heuristischen Optimierung von Investitionsprogrammen auf der Basis finanzmathematischer Kriterien. Arbeitspapier 3/75 des Instituts für Unternehmensführung an der Freien Universität Berlin. Berlin 1975.
- Kruschwitz, L.
Untersuchung über die Treffsicherheit finanzmathematischer Heuristiken zur Lösung eines einfachen Problems der Investitionsprogrammplanung. Unveröffentlichtes Manuskript. Berlin 1975.
- Kruschwitz, L.
Der interne Zinsfuß bei identischen Investitionsketten. ZfB 45. Jg. (1975), S. 205-207.

- Kruschwitz, L.
Finanzmathematische Endwert- und Zinsfußmodelle. ZfB 46. Jg. (1976), S. 245-262.
- Kruschwitz, L.
Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms. ZfB 47. Jg. (1977), S. 209-224.
- Kruschwitz, L.
Kapitalwert oder Interner Zinsfuß - Stellungnahme zu einigen investitionstheoretischen Arbeiten von H. Meyer. DB 30. Jg. (1977), S. 1061-1063.
- Kruschwitz, L.
Investitionsrechnung. Berlin, New York 1978.
- Kruschwitz, L.
Endwert- und Entnahmemaximierung bei alternativen Investitionsprojekten. DB 31. Jg. (1978), S. 549-554 und S. 597-600.
- Kruschwitz, L. / Fischer, J.
Untersuchung über Voraussetzungen, Wahrscheinlichkeit und Bedeutung von Konflikten zwischen den Zielsetzungen "Endwert- und Entnahmemaximierung" in der Investitionsplanung. Diskussionspapier 33 des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Berlin 1977.
- Kruschwitz, L. / Fischer, J.
Simultane Investitions- und Finanzplanung mit heuristischen Methoden. Unveröffentlichtes Manuskript eines Vortrages auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Operations Research. Berlin 1978.
- Kruschwitz, L. / Fischer, J.
Die Planung des Kapitalbudgets mit Hilfe von Kapitalnachfrage- und Kapitalangebotskurven. ZfB 32. Jg. (1980), S. 393-418.
- Kruschwitz, L. / Kammerdiener, R.
Modifizierte Algorithmen zur Beurteilung alternativer Investitionsprojekte bei Endwert- und Entnahmemaximierung. Diskussionspapier 46 des Instituts für Wirtschaftswissenschaften. TU Berlin 1979.
- Kuehn, A.A. / Hamburger, M.J.
A heuristic program for locating warehouse. MS Vol. 9 (1963), S. 643-666.

- Kühn, R.
Entscheidungsmethodik und Unternehmenspolitik - Methodische Überlegungen zum Aufbau einer betriebswirtschaftlichen Spezialdisziplin. Erarbeitet am Gegenstandsbe- reich der Unternehmenspolitik. Berlin, Stuttgart 1978.
- Kugel, Y.
A Criterion Model for the Evaluation and Selection of International Business Models. Management International Review Vol. 12 (1972), 6, S. 3-20.
- Laager, F.
Die Bildung problemangepaßter Entscheidungsmodelle. Zürich 1974.
- Land, A.H. / Doig, A.G.
An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica* Vol. 28 (1960), S. 497-520.
- Land, A. / Powell, S.
Computer Codes for Problems of Integer Programming. *Annals of Discrete Mathematics* Vol. (1979), S. 227-269.
- Landa, L.N.
Über das Wechselverhältnis von heuristischen und algo- rithmischen Prozessen. In: Kröber, G./Korf, M.: Wis- senschaftliches Schöpfertum. Berlin/Ost 1972, S. 334-347.
- Lauk, H.
Kapitalkosten und Ertragsteuern. Köln 1969.
- Lauk, H.
Flexiblen Investitionsplanung - Einführung in die Theorie der sequentiellen Entscheidungen bei Unsicherheit. Opladen 1971.
- Lauk, H. / Franke, G.
Das Versagen der Kapitalwertmethode bei Ganzzahligkeits- bedingungen. *Zfbf* 22. Jg. (1970), S. 517-527.
- Leaver, R.H. / Thomas, T.R.
Versuchsauswertung - Darstellung und Auswertung experi- menteller Ergebnisse in Naturwissenschaft und Technik. Braunschweig 1977.
- Lee, S.
Goal Programming for Decision Analysis. Philadelphia 1972.
- Lee, S.M. / Jenö, A.J.
Capital Budgeting for Multiple Objectives. FM Spring 1974, S. 58-65.
- Lenke, C.E. / Spielberg, K.
Direct Search Algorithms for zero-one and mixed-integer programming. *Operations Research* Vol. 15 (1967), S. 892-914.
- Liebmann, H.P. / Biethahn, J.
Zur Anwendung von heuristischen Methoden bei der Opti- mierung eines gemischt-ganzzahligen und separierbaren Investitionsproblems. *ZfB* 43. Jg. (1973), S. 351-372.
- Lienert, G.A.
Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Darge- stellt an Beispielen aus der psychologischen, medizini- schen und biologischen Forschung. Weisenheim a. Glan 1962.
- Linder, A.
Planen und Auswerten von Versuchen. 3. Aufl. Basel, Stuttgart 1969.
- Little, J.D.C.
Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus. *MS Vol.* 16 (1970), S. B 466-485.
- Lorie, J.H. / Savage, L.J.
Three Problems in Rationing Capital. *JOB Vol.* 28 (1955), S. 229-239.
- Lüder, K.
Zur Anwendung neuerer Algorithmen der ganzzahligen linea- ren Programmierung. *ZfB* 39. Jg. (1969), S. 405-434.
- Lüder, K.
Investitionskontrolle - Die Kontrolle des wirtschaft- lichen Ergebnisses von Investitionen. Wiesbaden 1969.
- Lüder, K.
Zur Investitionsplanung und Investitionsrechnung in der betrieblichen Praxis. *Wist* 5. Jg. (1976), S. 509-514.

- Lüder, K.
Entwicklung und Stand der Investitionsplanung. In:
Lüder, K. (Hrsg.): Investitionsplanung. München 1977,
S. 1-18.
- Lüder, K. / Streitferdt, L.
Die Bestimmung optimaler Portefeuilles unter Ganzzah-
ligkeitsbedingungen. ZOR Band 16 (1972), S. 89-113.
- Lutz, F.A. / Lutz, V.
The Theory of Investment of the Firm. Princeton 1951.
- Mabert, V.C. / Whybark, D.C.
Sampling as a solution methodology. Decision Sciences
Vol. 8 (1977), S. 167-179.
- Majer, S.F. / van der Weide, J.H.
Capital Budgeting in the decentralized firm. MS Vol. 23
(1976), S. 433-443.
- Mans, G.
Stand und Entwicklung von Planungssystemen in Unterneh-
men der BRD - Analyse einer empirischen Untersuchung.
In: Grochla, E. / Szyperski, N. (Hrsg.): Modell- und
Computergestützte Unternehmensplanung. Wiesbaden 1973,
S. 41-63.
- Mao, J.C.T.
Survey of Capital Budgeting: Theory and Practise. JOF
Vol. 25 (1970), S. 349-360.
- Marinoff, G.M.
Operational Research in Twenty Companies in Australian
Private Industry. Operational Research Quarterly, Vol. 26
(1975), S. 369-374.
- Marschak, J.
Towards an economic theory of organization and informa-
tion. In: Thrall, R.M. / Combs, C.H. / Davis, R.L.
S. 187-220.
- Marschak, J.
Problems in Information Economics. In: Bonini, Ch.P.
(ed): Management Control-New Direction in Basic Research.
New York 1964, S. 187-220.

- Massé, P. / Gibrat, R.
Application of Linear Programming to Investments in
the Electric Power Industry. MS Vol. 3 (1957), S. 149-
166.
- McDaniel, D. / Devine, M.
A Modified Benders Partitioning Algorithm for Mixed Inte-
ger Programming. MS Vol. 24 (1977), S. 312-319.
- McRoberts, K.L.
A Search Model for Evaluating Combinatorially Explosive
Problems. OR Vol. 19 (1971), S. 1331-1349.
- Meier, R.E.
Planung, Kontrolle und Organisation des Investitions-
entscheidendes. Bern, Stuttgart 1970.
- Meißner, G.
Approximative Investitionsprogrammplanung mit Hilfe der
Kapitalwertmethode - Diskussion eines Vorschlags von
Helliwig, K. Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der
Lehrveranstaltung von Herrn Prof. Dr. L. Kruschwitz.
Ausgewählte Probleme der Investitionstheorie, Techni-
sche Universität Berlin, WS 1976/77 (Unveröffentlicht).
- Meißner, J.D.
Heuristische Programmierung. Wiesbaden 1978.
- Meißner, J.D.
Bausteine zur Heuristischen Programmierung. Diss. TU
Berlin 1978.
- Meißner, J.D.
Eine Typisierung heuristischer Lösungsverfahren. Unver-
öffentlichtes Manuskript Berlin 1979.
- Melzer, F.
Investitionsrechnung in deutschen Industriebetrieben.
Arbeitsbericht des Instituts für Unternehmensführung
und Unternehmensforschung der Universität Bochum, Nr.
12 (1977).
- Mentzel, K. / Scholz, M.
Integrierte Verkaufs-, Produktions- und Investitionspla-
nung. APF 12. Jg. (1971), S. 1-15.
- Mertens, P.
Simulation. Stuttgart 1969.

- Mertens, P. / Griese, J.
Industrielle Datenverarbeitung. Bd. 2: Informations- und Planungssysteme. 2. Auflage. Wiesbaden 1972.
- Mertens, P.
Prognoserechnung. Würzburg, Wien 1973.
- Mewert, P. / Suhl, U.
Lösung gemischt-ganzzahliger Planungsprobleme. In: Noltemeier, H.: Computergestützte Planungsprobleme. Würzburg, Wien 1976, S. 111-154.
- Meyer, H.
Zur allgemeinen Theorie der Investitionsrechnung. Düsseldorf 1977.
- Meyer, H.
Entscheidungsmodelle und Entscheidungsrealität - Ein empirisches Prüfkonzept und seine Anwendung im Fall industrieller Materialdispositionen. Tübingen 1979.
- Meyer, J.R. / Kuh, E.
The Investment Decision - An Empirical Study. Cambridge (Mass.) 1957.
- Meyer, M. / Steinmann, H.
Planungsmodelle für die Grundstoffindustrie - Betriebswirtschaftliche Anwendungen der Linearen Programmierung in Gewinnungsbetrieben. Würzburg, Wien 1971.
- Meyhak, H.
Simultane Gesamtplanung im mehrstufigen Mehrproduktunternehmen. Wiesbaden 1970.
- Minsky, M.
Steps toward Artificial Intelligence. In: Feigenbaum, E.A. / Feldman, J. (ed.): Computers and Thought, a.a.O., S. 406-450.
- Mitra, G.
Investigations of some branch and bound strategies for the solution of mixed integer linear programming. Mathematical Programming Vol. 4 (1973), S. 155-180.
- Morris, W.T.
On the Art of Modelling. MS Vol. 13 (1967), S. 707-717.

- Moxter, A.
Offene Probleme der Investitions- und Finanzierungs- theorie. ZfBf 17. Jg. (1965), S. 1-10.
- Müller-Merbach, H.
Das Verfahren der 'vorsichtigen Annäherung' - Eine heuristische Methode zur Lösung gewisser Probleme der ganzzahligen Planungsrechnung. EDV 11. Jg. (1969), S. 464-466.
- Müller-Merbach, H.
Operations Research - Methoden und Modelle der Optimalplanung. 3. Aufl. München 1973.
- Müller-Merbach, H.
Heuristische Verfahren. Management Enzyklopädie (Ergänzungsband). München 1973, S. 346-355.
- Müller-Merbach, H.
Heuristic Methods: Structures, Applications, Computational Experience. In: Cottle, R. / Krarup, J.: Optimization Methods for Resource Allocation. London 1974, S. 401-416.
- Müller-Merbach, H.
Heuristische Verfahren und Entscheidungsbaumverfahren. HMB, Sp. 1812-1826.
- Müller-Merbach, H.
Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler. Lektion 40: Kombinatorische Probleme II, Heuristische Verfahren. Wist 4. Jg. (1975), S. 236-245.
- Müller-Merbach, H.
Modelling Techniques and Heuristics for Combinatorial Problems. In: Roy, B. (Hrsg.): Combinatorial Programming - Methods and Applications. Dordrecht 1975, S. 1-27.
- Müller-Merbach, H.
Morphologie heuristischer Methoden. ZOR Bd. 20 (1976), S. 69-87.
- Müller-Merbach, H.
The Use of Morphological Techniques for OR-Approaches to Problems. In: Haley, K.B. (ed.): Operational Research '75. Amsterdam 1976, S. 127-139.

Müller-Merbach, H.

Ansätze zu Entwurfsmethodologien für Algorithmen der kombinatorischen Optimierung. Proceedings in Operations Research 6. Würzburg, Wien 1977, S. 655-667.

Müller-Merbach, H.

Quantitative Entscheidungsvorbereitung - Erwartungen, Enttäuschungen, Chancen. DBW 37. Jg. (1977), S. 11-23.

Müller-Merbach, H.

Ein Kaskadenbaumverfahren zur Lösung des "Knapsackproblems". AI 21. Jg. (1978), S. 494-505.

Müller-Merbach, H.

Entwurf von Input-Output-Modellen. Proceedings of Operations Research 7. Würzburg, Wien 1978, S. 521-532.

Naylor, H. / Schaujand, H.

A Survey of Users of Corporate Planning Models. MS Vol. 22 (1976), S. 927-937.

Nemhauser, G.L. / Ullmann, Z.

A Note on the Generalized Lagrange Multiplier Solution to an Integer Programming Problem. OR Vol. 16 (1968), S. 450-453.

Newell, A.

Heuristic Programming: Ill-structured Problems. In: Aronofsky, J. (Hrsg.): Progress in Operations Research Vol. 3. New York 1969, S. 363-414.

Newell, A. / Shaw, H.C. / Simon, H.A.

The Process of Creative Thinking. In: Gruber, H.E. / Terrel, G. / Wertheimer, M. (eds): Contemporary Approach to Creative Thinking. New York 1962, S. 63-119.

Newell, A. / Simon, H.A.

GPS: A Program that simulates Human Thought. In: Feigenbaum, E.A. / Feldman, J. (Hrsg.): Computer and Thought. New York etc. 1963, S. 279-296.

Nieden, zur, M.

Zur Anwendbarkeit von Informationswertrechnungen. ZfB 42. Jg. (1972), S. 493-512.

Nilsson, N.J.

Problem Solving Methods in Artificial Intelligence. New York etc. 1971.

Nolan, T.J. / Banda, F.A.

An Empirical Study of the Capital Investment Decision Making Process in Selected Ohio Companies in 1971. Akron Business and Economic Review. Spring 1972, S. 10-16 (Part I), June 1972, S. 34-42 (Part II).

Nugent, C.E. / Vollmann, T.E. / Ruml, J.

An Experimental Comparison of Techniques for the Assignment of Facilities to Locations. OR Vol. 16 (1968), S. 150-173.

Ohse, D.

Linear Programming Software - Ein Überblick über das Angebot und den Entwicklungsstand moderner LP-Systeme. Proceedings in Operations Research 9. Würzburg, Wien 1980, S. 539-550.

Ohse, D. / Steinicke, V. / Walter, K.D.

Implementierungsprobleme bei der Anwendung der Linearen Planungsrechnung. In: Pfohl, H. Chr. / Rürup, B. (Hrsg.): Anwendungsprobleme moderner Planungs- und Entscheidungstechniken. Königstein/Ts. 1979, S. 141-158.

Oursin, Th.

Probleme industrieller Investitionsentscheidungen - Ergebnisse schriftlicher und mündlicher Befragungen des Ifo-Instituts für Wirtschaftsordnung. Berlin, München 1962.

O. V.

Computer bald Weltmeister? Der Spiegel, 33. Jg. (1979), 13, S. 209-215.

Parra-Vasquez, A.S.

Simulation of Financial Decision over Time. Department of Industrial Engineering Technical Report 74-3. Stanford University 1974.

Parra-Vasquez, A.S. / Oakford, R.V.

Simulation as a Technique for Comparing Decision Procedures. TEE Vol. 21 (1976), S. 221-236.

Peeters, H.

Empirischer Leistungsvergleich kommerzieller Softwaresysteme APEXIII, FMPS, MPSX-MIP/370 bei gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblemen. Proceedings in Operations Research 9, Würzburg, Wien 1980, S. 551-558.

Perltitz, M.

Risikoanalyse für Investitionsentscheidungen. Zfbf-Kontaktstudium 31. Jg. (1979), S. 44-49.

- Petersen, C.C.
A Capital Budgeting Heuristic Using Exchange Operations. *AIIE Transactions*, Vol. 6 (1974), S. 143-150.
- Petry, G.H.
Effective Use of Capital Budgeting Techniques. *Business Horizons* Vol. 18 (1975), S. 57-65.
- Petty, J.W. / Bowlin, O.D.
The Financial Manager and Quantitative Decision Models. *Financial Management*, Winter 1976, S. 32-41.
- Petty, J.W. / Scott, D.F. / Bird, M.M.
The Capital Expenditure Decision-Making Process of Large Corporations. *TBE* Vol. 20 (1975), S. 159-172.
- Pflumm, N.P.
Managing Capital Expenditures. New York 1963.
- Pfohl, H.-Ch.
Praktische Relevanz von Entscheidungstechniken. Die Unternehmung, 30. Jg. (1976), S. 73-93.
- Pfohl, H.-Ch.
Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen. Berlin, New York 1977, S. 31 ff.
- Pfohl, H.-Ch. / Hebel, R.
Bewertung heuristischer Methoden. Unveröffentlichtes Manuskript Essen 1979.
- Pressmar, D.
Theorie der dynamischen Produktionsplanung. Habilitationsschrift. Hamburg 1972.
- Pye, G.
Present values for imperfect capital markets. *JOB* Vol. 39 (1966), S. 45-51.
- Quitrin, D.G.
The Capital Expenditure Decision. Homewood (Illinois) 1974.

- Raffée, H.
Grundprobleme der Betriebswirtschaftslehre. Göttingen 1974.
- Raine, P.S. / Flavell, R.B. / Salkin, G.
Determining appropriate levels of data aggregation in a linear programming model. *ETOR* Vol. 2 (1978), S. 26-31.
- Ramalingam, P.A.
A Branch Select Algorithm for the Capital Budgeting Problem with Interrelated Projects. Paper presented at the Joint National Conference on Major Systems. Anaheim (California) 1971.
- Reichwald, C. / Slevi, C.
Produktionswirtschaft. In: Heinen, E. (Hrsg.): *Industrie- betriebslehre*, a.a.O., S. 280-418.
- Reiter, S. / Rice, D.B.
Discrete Optimizing Solution Procedures for Linear and Nonlinear Integer Programming Problems. *MS* Vol. 12 (1966), S. 829-850.
- Reiter, S. / Sherman, G.
Discrete Optimizing. *J. Soc. Indust. Appl. Math.* Vol. 13 (1965), S. 864-889.
- Rivett, P.
Entscheidungsmodelle in Wirtschaft und Verwaltung. Frankfurt, New York 1974.
- Robichek, A.A. / Mac Donald, J.G.
Financial Management in Transition. Long Range Planning Service Report No. 268. Stanford Research Institute. Menlo Park California 1966.
- Rohde, M.
Zur Planung optimaler Investitionsprogramme - Darstellung und Kritik der Modellansätze. Unveröffentlichte Diplomarbeit Freie Universität Berlin 1968.
- Ropohl, G.
Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der morphologischen Methode in Forschung und Entwicklung. *Wist* 1. Jg. (1972), S. 495-499, S. 541-546.

- Rosenberg, O.
Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Gesamtplanung. Köln etc. 1975.
- Rosenberg, O.
Koordination von Investition und Finanzierung bei dezentraler Planung. Proceedings in Operations Research 8. Würzburg, Wien 1979, S. 478-485.
- Rosenblatt, M.J.
Capital Budgeting Decisions in Multi-Divisions Firma. Ph.D. Diss. Stanford University Palo Alto California 1977.
- Rosenblatt, M.J. / Jucker, J.V.
Capital Expenditure Decision Making: Some Tools and Trends. Interfaces Vol. 9 (1979), S. 63-69.
- Rosenhead, J. / Elton, J. / Gupta, S.K.
Robustness and Optimality as Criteria for Strategic Decisions. OR quarterly Vol. 23 (1972), S. 413-431.
- Rosenkrantz, D.J. / Stearns, R.E. / Lewis, P.M.
An Analysis of Several Heuristics for the Travelling Salesman Problem. SIAM Journal of Computing Vol. 6 (1977), S. 563-581.
- Roth, R.H.
An Approach to Solving Linear Discrete Optimization Problems. JACM Vol. 17 (1970), S. 303-313.
- Runggaldier, W.
Ganzzahlige, Null-Eins- und Gemischt-Ganzzahlige Programmierung im Zusammenhang mit der Branch and Bound-Technik. In: Weinberg, F.: Branch and Bound: Eine Einführung, 2. Auflage, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Berlin, Heidelberg, New York 1973, S. 107-126.
- Sahni, S.
Approximate Algorithms for the 0/1 Knapsack Problem. JACM Vol. 22 (1975), S. 115-124.
- Sahni, S.
General Techniques for Combinatorial Approximation. OR Vol. 25 (1977), S. 920-936.

- Salazar, R.C. / Sen, S.K.
A Simulation Model of Capital Budgeting under Uncertainty. MS Vol. 15 (1968), S. B161-169.
- Salkin, H.M.
Integer Programming. Reading etc. 1975, S. 510.
- Sandewall, E.J.
Heuristische Suche: Konzepte und Methoden. In: Findler, N.V. / Itzinger, O.: Künstliche Intelligenz und heuristisches Programmieren. New York 1975, S. 83-104.
- Schall, L.D. / Sundem, G.L. / Geijsbeek, W.R.
Survey and Analysis of Capital Budgeting Methods. JOF Vol. 33 (1978), S. 281-287.
- Scheer, A.-W.
Die industrielle Investitionsentscheidung - Eine theoretische und empirische Untersuchung zum Investitionsverhalten in Industrieunternehmen. Wiesbaden 1969.
- Scheer, A.-W.
Produktionsplanung auf der Grundlage einer Datenbank des Fertigungsbereichs. München, Wien 1976.
- Scheer, A.-W. / Bolmberg, L. / Demmer, H. / Helber, C.
Wirtschafts- und Betriebsinformatik. München 1978.
- Schellenberger, R.E.
Criteria for Assessing Model Validity for Managerial Purposes. Decision Sciences. Vol. 5 (1974), S. 644-653.
- Schindel, V.
Risikoanalyse - Darstellung und Bewertung von Risikorechnungen am Beispiel von Investitionsentscheidungen. München 1977.
- Schlicksupp, H.
Kreative Ideenfindung in der Unternehmung - Methoden und Modelle. Berlin, New York 1977, S. 69 ff.
- Schmidt, R.
Mehrperiodige Portefeuilleplanung. In: Albach, H. / Simon, H. (Hrsg.): Investitionstheorie und Investitionspolitik privater und öffentlicher Unternehmen. Wiesbaden 1976, S. 167-193.

- Schmitz, P.
Voraussetzungen für die Gestaltung computergestützter
Entscheidungs-systeme. EDV (1970), S. 401-405.
- Schneider, A.
Darstellung und Erklärungsansätze des Investitionsver-
haltens industrieller Unternehmen - Eine empirische
Untersuchung bei den Unternehmen der Maschinenbau- und
Elektroindustrie im Wirtschaftsraum Nürnberg-Fürth-
Erlangen. Diss. Nürnberg 1976.
- Schneider, D.
Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme
unter Gewißheit. Zfbf 23. Jg. (1971), S. 831-851.
- Schneider, D.
"Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme
unter Ungewißheit?" in der Diskussion. Zfbf 24. Jg.
(1972), S. 456-476.
- Schneider, D.
Investition und Finanzierung - Lehrbuch der Investitions-,
Finanzierungs- und Ungewißheitstheorie. 4. Aufl. Opla-
den 1975.
- Schneider, D.
Messbarkeitsstufen subjektiver Wahrscheinlichkeiten als
Erscheinungsformen der Ungewißheit. Zfbf 31. Jg. (1979),
S. 89-122.
- Schneider, E.
Kritisches und Positives zur Theorie der Investition.
Weltwirtschaftsarchiv Band 98 (1967), S. 314-348.
- Schneider, E.
Wirtschaftlichkeitsrechnung - Theorie der Investition.
8. Auflage. Tübingen, Zürich 1973 (1. Aufl. Tübingen
1951).
- Schnupp, P. / Floyd, Ch.
Software, Programmentwicklung und Projektorganisation.
Berlin, New York 1976.
- Schütz, W.
Methoden der mittel- und langfristigen Prognose - Eine
Einführung. München 1975.

- Schummacher, C.C. / Smith, B.E.
A Sample Survey of Industrial Operations Research.
OR Vol. 13 (1965), S. 1023-1027.
- Schweim, J.
Integrierte Unternehmensplanung. Bielefeld 1969.
- Seelbach, H.
Planungsmodelle in der Investitionsrechnung. Würzburg,
Wien 1967.
- Seiwert, L.
Das Zielsystem der Unternehmung. Studienblatt in Wisu
7. Jg. (1978).
- Senju, S. / Toyoda, Y.
An Approach to Linear Programming with 0-1 Variables.
MS Vol. 15 (1968), S. 196-207.
- Siegel, Th.
Zur Anwendbarkeit von Rangfolgekriterien bei der Auf-
stellung von Investitionsprogrammen. Diskussionspapier
Nr. 24, hrsg. vom Institut für Wirtschaftswissenschaft-
ten der Technischen Universität Berlin 1976.
- Simon, H.A.
Administrative Behavior. 2. Aufl. New York 1957.
- Simon, H.A.
The structure of ill-structured problems. Artificial
Intelligence Vol. 4 (1973), S. 181-201.
- Simon, H.A. / Newell, A.
Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations
Research. OR Vol. 6 (1958), S. 1-10.
- Slagle, J.R.
Heuristic Search Methods. In: Banerji, R. / Mesarovic,
M. (eds): Theoretical Approaches to Non-Numerical Problem
Solving. New York 1970, S. 246-273.
- Slagle, J.R.
Einführung in die heuristische Programmierung - Künst-
liche Intelligenz und intelligente Maschinen. München
1972.

- Schönnen, W.
Zur Entwicklung eines Modells hierarchischer Gesamtplanung. Vortrag anlässlich der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Operations Research in Regensburg im September 1979.
- Solomon, E.
The Arithmetic of Capital-Budgeting Decisions. *JOB* Vol. 29 (1956), S. 124-129.
- Souder, W.E.
A Scoring Methodology for Assessing the Suitability of Management Science Models. *MS Vol. 18* (1972), S. 526-543.
- Sozialdemokratische Partei Deutschlands
Ökonomisch-politischer Orientierungsrahmen für die Jahre 1975-1985. Mannheim 1975.
- Stahlknecht, P.
Operations Research. Bd. 2: Simulationsmethoden / Ablauf- und Terminplanung. 2. Aufl. Braunschweig 1970.
- Stahlknecht, P.
Erfahrungen mit computergestützten Planungsmodellen. *AI 14. Jg.* (1972), S. 209-212.
- Stahlknecht, P.
Strategien zur Implementierung von OR-gestützten Planungsmodellen in der Praxis. *DBW 38. Jg.* (1978), S. 39-50.
- Steinbach, K.P.
Ein methodisches Konzept zur Analyse langfristiger komplexer Planungsprobleme. Diss. TU Berlin 1975.
- Steinbach, K.P.
Ein Modell zur langfristigen Investitionsplanung im Maschinenbau. *ZfBf 29. Jg.* (1977), S. 506-519.
- Steincke, V. / Seifert, O. / Ohse, D.
Lineare Planungsmodelle im praktischen Einsatz - Auswertung einer Erhebung. Köln, Frankfurt 1973.
- Streim, H.
Heuristische Lösungsverfahren - Versuch einer Begriffsklärung. *ZOR Bd. 19* (1975), S. 143-162.
- Serutz, H.
Langfristige Personalplanung auf der Grundlage von Investitionsmodellen. Wiesbaden 1976.
- Suhl, U.
Heuristische Lösungsverfahren zur Lösung von (0-1) Programmen mit nicht-negativen Koeffizienten. In: *Proceedings in Operations Research*, 6. Würzburg, Wien 1977.
- Suhl, U.
Implementationsstechniken für einen Branch-and-Bound-Algorithmus zur Lösung von (0-1) Programmen. *Proceedings in Operations Research 7*. Würzburg, Wien 1978, S. 497-506.
- Sundem, G.L.
Simplification of Capital Budgeting Models. Diss. Stanford 1971.
- Sundem, G.L.
Analysis of Simplification in Capital Budgeting Models Using a Time-State Preference Metric. *The Accounting Review Vol. 49* (1974), S. 306-320.
- Sundem, G.L.
Evaluating Capital Budgeting Models in Simulated Environment. *JOF Vol. 30* (1975), S. 977-992.
- Swoboda, P.
Die simultane Planung von Rationalisierungs- und Erweiterungsinvestitionen und von Produktionsprogrammen. *ZfB 35. Jg.* (1965), S. 148-163.
- Swoboda, P.
Buchbesprechung zu: Huber, P.: Zur Problematik der Formulierung entnahmestromorientierter Zielfunktionen von integrieren Investitions-, Finanzierungs- und Produktionsplanungsmodellen. Wien 1977. *ZfB 48. Jg.* (1978), S. 1017.
- Szyperski, N. / Winand, U.
Zur Bewertung von Planungstechniken im Rahmen einer betriebswirtschaftlichen Unternehmensplanung. In: Pfohl, H.-Ch. / Rührup, B. (Hrsg.): *Anwendungsprobleme moderner Planungs- und Entscheidungstechniken*. Königstein/Ts. 1979, S. 194-218.

- Tan, S.T.
Beiträge zur Dekomposition von linearen Programmen.
Unternehmensforschung, 10. Jg. (1966), S. 168-189 und
S. 247-268.
- Teichmann, H.
Die optimale Komplexion des Entscheidungskalküls. Zfbf
24. Jg. (1972), S. 519-539.
- Teichmann, H.
Zum Wert und Preis von Informationen. ZFB 43. Jg. (1973),
S. 375-390.
- Teichmann, H.
Buchbesprechung zu Bitz, M.: Die Strukturierung ökonomischer Entscheidungsmodelle, a.a.O. ZFB 48. Jg. (1978),
S. 1012-1013.
- Teichroew, D. / Robichek, A.A. / Montalbano, M.
Analyse der Kriterien der Investitions- und Finanzplanung bei Sicherheit. In: Alpbach, H. (Hrsg.): Investitionstheorie. Köln 1975, S. 92-121 (deutsche Übersetzung von dieselben: An Analysis of Criteria for Investment and Financing Decisions under Certainty. MS Vol. 12 (1966), S. 151-179).
- Ten Kate, A.
Decomposition of linear programs by direct distribution.
Econometrica Vol. 40 (1972), S. 883-898.
- Thomas, G. / DaCosta, J.A.
A Sample Survey of Corporate Operations Research.
INTERFACES Vol. 9 (1979), S. 102-111.
- Thompson, H.E.
Mathematical Programming. The Capital Asset Pricing Model and Capital Budgeting of Interrelated Projects.
JOF Vol. 31 (1976), S. 125-131.
- Thuesen, G.J.
Decision Techniques for Capital Budgeting Problems.
Diss. Stanford University 1967.
- Töpfer, A.
Planungs- und Kontrollsysteme industrieller Unternehmen - Eine theoretische, technologische und empirische Analyse. Berlin 1975.

- Tonge, F.M.
The Use of Heuristic Programming in Management Science - A Survey of the Literature. MS Vol. 7 (1961), S. 231-237.
- Tonge, F.M.
Assembly Line Balancing Using Probabilistic Combinations of Heuristics. MS Vol. 11 (1965), S. 727-735.
- Toyoda, Y.
A Simplified Algorithm for Obtaining Approximate Solutions to Zero - One Programming Problems. MS Vol. 21 (1975),
S. 1417-1427.
- Turban, E.
A Sample Survey of Operations-Research Activities at the Corporate Level. OR Vol. 20 (1972), S. 708-721.
- Ulrich, W.
Einführung in die heuristischen Methoden des Problemlösens. WISU (1976), S. 251-256.
- Urban, G.L.
Building Models for Decision Makers. Interfaces Vol. 4 (1974), 3, S. 1-11.
- Vleck, van, R.W.
Capital Expenditure Practises in Large American Corporations. Ph.D. Thesis George Washington University 1976.
- Viafore, K.M.
A Survey of Capital Expenditure Procedures and Practises in Industry: Their Practical Application and Effectiveness. Ph.D. Diss. Stanford University Palo Alto California 1975.
- Vischer, P.
Simultane Produktions- und Absatzplanung - Rechnungs-technische und Organisatorische Probleme mathematischer Programmierungsmodelle. Wiesbaden 1967.
- Vormbaum, H.
Das finanzwirtschaftliche Gleichgewicht des Betriebes.
ZFB 32. Jg. (1962), S. 65-81.

- Wagner, H.
Simultane Planung von Investition, Beschäftigung und Finanzierung mit Hilfe der dynamischen Programmierung. ZfB 37. Jg. (1967), S. 709-738.
- Waldmann, J.
Optimale Unternehmensfinanzierung - Modelle zur integrierten Planung des Finanzierungs- und Leistungsbe reiches. Wiesbaden 1972.
- Warren, A.D. / Lasdon, L.S.
The Status of Nonlinear Programming. OR Vol. 27 (1979), S. 431-456.
- Weber, E.
Grundriß der biologischen Statistik. Stuttgart 1972,
- Wedekind, H.
Datenbanksysteme I. Mannheim, Wien, Zürich 1974.
- Wedekind, H.
Systemanalyse - Die Entwicklung von Anwendungssystemen für Datenverarbeitungsanlagen. 2. Auflage. München, Wien 1976.
- Wegener, H.
Die Optimierung linearer Investitions- und Finanzplanungsmodelle mit ausgewählten Verfahren der ganzzahligen Programmierung. Diss. Göttingen 1973.
- Weingartner, H.M.
Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems. Englewood Cliffs 1963.
- Weingartner, H.M.
Some New Views on the Pay Back Period and Capital Budgeting Decisions. MS Vol. 15 (1969), S. 594-607.
- Weingartner, H.M. / Ness, D.N.
Methods for the Solution of the Multidimensional 0/1 Knapsack Problem. OR Vol. 15 (1967), S. 83-103.
- Wheeling, R.F.
Heuristic Search: Structured Problems. In: Aronowsky, I.S. (ed): Progress in Operations Research. New York 1969, S. 317-359.

- Wiest, J.D.
Heuristic Programs for Decision Making. HBR Vol. 44 (1966), S. 129-143.
- Wiggert, H.
Kurzfristige Programoptimierung mit Hilfe der linearen Planungsrechnung in Betrieben mit mehrteiliger und mehrstufiger Produktion. Diss. Darmstadt 1972.
- Williams, R.P.
Industry Practise in Allocating Capital Resources. Managerial Planning, May 1970, S. 15-22.
- Witte, T.
Simulationstheorie und ihre Anwendung auf betriebliche Systeme. Wiesbaden 1973.
- Witte, Th.
Heuristisches Planen - Vorgehensweisen zur Strukturierung betrieblicher Planungsprobleme. Wiesbaden 1979.
- Witte, Th.
Planungsüberlegungen in Lösungsdefekten Problemsituationen. WISU 8. Jg. (1979), S. 437-440 und S. 490-492.
- Witten, P. / Zimmermann, H.G.
Zur Eindeutigkeit des internen Zinssatzes und seiner numerischen Bestimmung. ZfB 47. Jg. (1977), S. 99-114.
- Wöhe, G.
Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 10. Auflage. München 1974
- Wolter, H.
Heuristische Verfahren zur näherungsweise Lösung ganzzahliger linearer Optimierungsprobleme. Diss. Leuna, Merseburg 1976.
- Wurl, H.J.
Die Anwendung der Simulationstechnik zur betriebswirtschaftlichen Beurteilung industrieller Projekte in Entwicklungsländern. Berlin 1971.
- Wyman, F.P.
Binary Programming: A decision rule for selecting optimal vs heuristic techniques. The Computer Journal Vol. 16 (1973), S. 135-140.

Zanakis, St.H.

Heuristic O-1 Linear Programming: An Experimental Comparison of three Methods. MS Vol. 24 (1977), S. 91-104.

Zangemeister, Ch.

Nutzwertanalyse in der Systemtechnik - Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projekalternativen. 3. Auflage. München 1973.

Zentes, J.

Die Optimalkomplexion von Entscheidungsmodellen - Ein Beitrag zur betriebswirtschaftlichen Meta-Entscheidungstheorie. Diss. Saarbrücken 1975.

Zehnder, C.A.

Das Prinzip der heuristischen Methoden. In: Weinberg, F. / Zehnder, C.A. (Hrsg.): Heuristische Planungsmethoden. Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Economics 13. Berlin, Heidelberg, New York 1969, S. 7-22.

Zehnder, C.A. / Escher, G.

Zur Anwendung von Rechenautomaten. In: Weinberg, F. / Zehnder, C.A. (Hrsg.): Heuristische Planungsmethoden. Berlin, Heidelberg, New York 1969, S. 85-92.

Zimmermann, H.-J.

Zur Darstellung und Lösung schlechtstrukturierter Entscheidungsprobleme. WISU 8. Jg. (1979), S. 72-77.

Zimmermann, W.

Modellanalytische Verfahren zur Bestimmung optimaler Fertigungsprogramme. Berlin 1966.

STICHWORTVERZEICHNIS

- Abstraktion 234ff, 254ff.
- Aggregation 30, 171, 255f.
- Aktionsfeld 28f., 255
- Aktionshorizont 56, 166
- Aktionsmöglichkeiten (siehe Handlungsmöglichkeiten)
- Aktionsvariable 105f.
- Algorithmus 105, 297
- gemischt-ganzzahliger 122f.
- zur Modellkonstruktion 209f.
- Allgemeinheitsgrad 140, 177, 409ff.
- Analogien, Suche nach 232ff.
- Annuität 45
- Anspruchsniveau 42, 238ff.
- Artificial Intelligence 6, 387
- Aussagen, Inexakte 243, 294
- Auswahlprobleme 140
- Average Return Rate 499ff., 511, 559ff
- Barwertstreben 45
- Benutzeradäquanz 275ff.
- Bewertungsverfahren 301ff., 444
- Bound - Abschätzung 138f., 469
- Branch-and-Bound Verfahren 113, 116f, 444
- Verkürzte 306, 310ff.
- Capital Budgeting (siehe Investitionsprogrammplanung)
- Chance-Constrained Programming 251ff.
- Computer 203f.
- Computerprogrammierung heuristischer Programme 495f.
- Computerprogramme zur gemischt-ganzzahligen Optimierung 121ff., 169, 204
- Computersimulation 135, 154f., 194, 248ff, 405, 466
- Datenbanken 160
- Datengewinnung 103f, 155, 167ff., 194f., 199
- Dekomposition 124ff, 227ff., 404
- Effizienzbeurteilung 457ff., 471
- Einkommensmodelle 409ff.
- Einkommensstreben 44ff.
- Einzelentscheidungen (siehe Investitionseinzelentscheidungen)
- Endwertstreben 45, 94
- Entscheidung
 - unter Sicherheit 35, 200
 - unter Risiko 36f, 200, 259f.
 - unter Unsicherheit 36ff., 163f, 200
- Entscheidungsbaum 115, 143, 393
- Entscheidungsbaumverfahren 109, 113ff, 300, 306, 311f, 446
- Entscheidungsmodell 20
- deterministisches 106
- geschlossenes 25, 38, 40, 188
- offenes 38, 188
- Entscheidungsprozess, Phasen des 21f.
- Entwicklungspotential 287
- Entwurfsmethodologie 12, 389ff., 425ff.

Entwurfprozess 484ff.
 Enumeration
 - implizite 113ff., 310ff.
 - vollständige 110, 297
 Ergänzungsinvestition 31
 Ergänzungskredit 31
 Ergebnishorizont 55f., 166, 261ff.
 Erklärungsmodell 23
 Eröffnungsverfahren
 - heuristische 139ff., 298ff., 427ff., 497ff.
 - mit abnehmendem Freiheitsgrad 302ff.
 - mit zunehmendem Freiheitsgrad 302ff., 497
 Ersatzentscheidungen 15
 Ersatzzielgröße 45f., 257ff.
 Evaluation heuristischer Verfahren 390f., 451ff., 490ff., 496, 532ff.
 Extremalziele 40ff.
 Finanzierungsengpaß 151f.
 Finanzwirtschaftlicher Bereich 31f
 Flexibilität 278ff.
 Ganzahligkeit 105f., 107, 246ff.
 Gewinnmaximierung 42f.
 Goal Programming 244f.
 Gradientenverfahren 306, 331ff., 517
 Greatest Change Kriterium 319ff.
 Habenzins 31
 Handlungskonsequenzen 33ff., 161ff., 198

Handlungsmöglichkeiten 28ff., 64, 161ff., 198, 215
 Heuristik
 - Begriff 6, 173ff.
 - formal-orientierte 178, 298f, 305ff.
 - materiell-orientierte 178, 298f, 336ff.
 - schöpferische 184, 205f.
 Heuristische Lösungsverfahren
 - allgemein 9, 12, 140ff., 296ff
 - Entwurf von 385ff
 - zur Lösung von Investitionsplanungsproblemen 8, 296ff., 338ff
 Heuristische Methoden 173f.
 Heuristische Prinzipien
 - allgemein 9, 11, 132f., 178ff., 207, 220ff., 224ff
 - zur Modellkonstruktion 224ff
 Heuristische Programme 183, 207f
 Heuristische Regeln (siehe heuristische Prinzipien)
 Heuristische Verfahren
 - Begriff 6, 173ff.
 - deterministische 109, 134ff
 Implementierung 168, 195f., 280ff
 Indikatoren 33
 Informationsbewertung 473ff
 Informationsgewinnung 19
 Initialverzinsung 499ff., 559ff
 Interdependenzen
 - allgemein 83, 260
 - finanzielle 16
 - relevante 28
 - technologische 17f., 29
 - wertmäßige 18, 29
 - zeitlich-horizontale 17, 34
 - zeitlich-vertikale 18, 34, 59f., 262

Investition
 - Dauerentscheidung 15
 - Einzelentscheidung 15f., 161, 413
 - Kontrolle 158f
 - Motive 164f
 - Plan 151, 162
 - Planung 15f., 28f
 - Planungsprozess 22, 150ff., 157ff
 Investitionsprogrammplanung
 - allgemein 15f., 162, 338ff
 - bei Sicherheit 10, 72
 - und Finanzierungsprogrammplanung 2, 66f., 379ff., 479ff
 - und Produktionsprogrammplanung 2, 17, 67f., 82ff
 - Verbreitung in der Praxis 146ff
 - Vorteile der 155f
 Investitionsrechenverfahren, klassische 166, 171f., 337ff
 Investitionstheorie 15, 241f
 Isomorphie 20, 197f., 239
 Iterationsverfahren 139ff., 298ff., 304, 446ff., 526ff
 Kalkulationszinsfuß 500
 - endogener 262, 351ff., 380ff., 408, 415ff., 444, 500f., 573ff
 Kapazitätsbedingungen 85f
 Kapitalmarkt
 - unvollkommener 255, 411
 - vollkommener 231, 255, 411
 Kapitalwert 45, 258f., 279, 408, 420ff., 499ff., 562ff
 Kapitalwerterrate 499ff., 562ff
 Kapitalwertrentabilität 353, 499ff., 562ff
 Kapitalwertstreben 45
 Knapsack-Problem 140f., 308f., 331, 453
 Kombination, produktive 17
 Komplexionsgrad 209ff
 Konstruktionsverfahren (siehe Eröffnungsverfahren)
 Kraft, Heuristische 202f., 222, 457
 Kreativitätstechniken 206f
 Langfristplanung 29
 Leistungswirtschaftlicher Bereich 31ff
 Lexikographische Ordnung 245f
 Liquiditätsbedingungen 50f., 79, 263, 423f
 Lösungsaufbereitung 204f
 Lösungsqualität 458ff., 544
 Lösungsverbesserung 398ff
 Lösungsverfahren 105ff
 - Suboptimale 131ff
 Lösungswahrscheinlichkeit 459ff
 Lorie-Savage-Problem 308ff., 340ff
 Maßgrößen, Operationale 34
 Mathematische Methoden 24
 Mensch-Modell-Kommunikation 277f
 Meta-Modell 209ff., 269
 Methoden, Exakte 183
 Methoden, Inexakte 183
 Methodenbanken 160
 Methodenverbund 402ff
 Modell
 - Anforderung an 273ff
 - dynamisches 59f
 - mathematisches 105
 - statisches 59

- Modellkonstruktion
 - allgemein 8,186ff,209ff
 - algorithmischer Ansatz 211ff
 - Freiheitsgrade der 196ff,224
 - heuristischer Ansatz 220ff
 - Phasen der 186ff
- Modellparameter 199ff
- Modellstruktur 196ff
- Modelltechnologie 195,201f,280ff
- Modellumfang 96ff
- Modellvalidierung 269ff
- Modellvereinfachung 23,194,234ff
- Modellzerlegung 227ff
- Morphologischer Kasten 63,396ff,426
- Multiple Objective Programming 40
- Näherungsverfahren 133,156,297,453
- Nebenbedingung 26,40,165
- Nullprogramm 544
- Nutzen-Präferenzwerte 34
- Nutzungsdauerentscheidung 15
- Nutzwertanalyse (siehe Scoring-Modell)
- Objektentscheidungen 392ff,427ff
- Operations Research 7,108,153
 - Verfahren des 153f,156
- Operatorenentscheidungen 142,175,392ff,427ff
- Optimierung 108f,202
 - dynamische 113,115f,444
 - gemischt-ganzzahlige 108ff,305ff
 - stochastische 248f
- Partialmodell 31,254ff,368,407ff
- Pauschalannahmen 30ff,57ff
 - über die Welt des Investors 16,253ff
- Pilot - Studie 239
- Planung, Sequentielle 61
- Planungsabgrenzung
 - direkte 231
 - indirekte 231
- Planungsaufwand 159,167ff,280ff
 - Reduktion des 174ff
- Planungshorizont 55,166,198f,261f
- Planungszeitraum 54ff,65
- Präzisionsgrad von Informationen 200ff,235f
- Prioritätsregelverfahren 301ff,331ff,444,513
- Probabilistic Approach 452ff
- Problem
 - schlecht definiert 177,182
 - 185
 - schlecht lösbar 182,185,468f
 - schlecht repräsentierbar 182,185
 - schlecht strukturiert 181ff,185,188f,221
 - wohl definiert 24f,176
 - wohl strukturiert 181,192f
- Problemorientierung, Spezifische 177ff
- Problemvorbereitung 428ff
- Problemlerlegung 23,226ff,246,402
- Produktionsplanung 82ff
- Prognoseproblem 38f
- Programmierung
 - Lineare 26,243
 - Mathematische 26,154f

- Programmsysteme (siehe Computerprogramme)
- Qualitätsdimensionen 456ff
- Rechenregeln, System der Allgemeinen 505ff
- Referenzverfahren 457,468ff
- Rentabilität, Statische 152,171,499ff,563ff
- Rentabilitätsmaximierung 43
- Ressourcenbedarf 459ff
- Ressourcenwirkungen 33ff,64,263
- Restriktionen 49ff,263ff
- Risikoanalyse 154,249ff
- Sampling Technique 135ff
- Schnittebenenverfahren 109ff
- Scoring-Modelle 40,283ff,472
- Sensitivitätsanalyse 164,276
- Simpler-Methode 108
- Simulation (siehe Computer-Simulation)
- Sollzins 31
- Sollzinsfuß, Kritischer 499ff,559ff
- Statistische Prüfverfahren 476ff
- Stichprobe 467f,477f
- Suchverfahren, Direkte 306,317ff
- Suchverfahren, Stochastische 109,134ff
- Systembeziehungen 49ff,215,263f
- Restbereiche 548ff
- Restdatengenerator 478,491ff,536ff
- Testparameter 537ff
- Testprobleme 456,465ff,492f
- Totalmodell 31
- Totalplanung 50ff
- Transformationsmöglichkeiten (siehe Handlungsmöglichkeiten)
- Umweltbedingungen 30,64f,198,215
- Unsicherheit 36f
- Verbesserungsverfahren (siehe Iterationsverfahren)
- Vermögensrentabilität 499ff,562ff
- Vermögenswert 499ff,562ff
- Vermögenswertmethoden 409ff,500
- Vermögensstreben 44f
- Verzweigungsmerkmal 115ff
- Vollkommenheitsgrad von In-Formatoren 200ff,235ff
- Vorauschauregelverfahren 312,513ff
- Vorteilskriterien, Finanz-ziel 45f,242,369ff,407ff,498f
- Wahlentscheidung 15f
- Weibull-Verteilung 476
- Wilcoxon-Test 477f,545,563f
- Wirkungshorizont 54f

Wohlstandsstreben, finanzielles 43f	Zinsfuß, Endogener (siehe Kalkulationszins, Endogener)
Worst Case Analysis 452ff	Zinsfuß, Interner 1f, 45, 152, 171, 409, 499ff, 511, 559ff
Ziele	Zinsfußmodelle 409ff, 500
- monetäre 48, 164f	Zurechenbarkeit 34
- nicht-monetäre 48, 164f	Zustandsraumkonzept 392ff
Zielarten 47, 64f	
Ziefunktion 26, 40ff, 245	
Zielsystem 33, 40ff, 213f, 244f	
Zielwirkungen 33, 40ff, 64, 263	

»Betriebswirtschaftliche Studien«

Band 19

Investitionsrechnungen und unternehmerische Entscheidungen

Kritische Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen traditioneller und moderner Investitionsrechnungsverfahren
Von Dipl.-Kfm. Dr. Wolfgang Krause
XI, 302 Seiten, DIN A 5, kartoniert, DM 36,-
ISBN 3 503 01078 5

Band 32

Die Produktions- und Investitionspolitik der Internationalen Unternehmung

Von Dipl.-Kfm. Dr. Jens Penseel
Mit einem Geleitwort von Professor Dr. Wolfgang Lücke
XV, 400 Seiten, DIN A 5, kartoniert, DM 58,-
ISBN 3 503 01536 1

Band 33

Steuerorientierte Investitionsplanung und Inflation

Zum Einfluß von Geldentwertung und Besteuerung auf die Vorteilhaftigkeit von Investitionen und deren Finanzierung
Von Dipl.-Kfm. Rolf-Christian Wentz, M.Sc.
Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Hans E. Büschgen, Universität zu Köln
XIII, 210 Seiten, DIN A 5, kartoniert, DM 38,-
ISBN 3 503 01565 5

Band 40

Gewinnsteuern in Partialmodellen für Investitionsentscheidungen

Barwert und Endwert als Instrumente zur Steuerwirkungsanalyse
Von Dr. Jürgen Steiner
XII, 215 Seiten, DIN A 5, kartoniert, DM 46,-
ISBN 3 503 01907 3



Erich Schmidt Verlag
Berlin · Bielefeld · München