ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of
ZBW
Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Salewski, Frank; Schirmer, Andreas; Drexl, Andreas

Working Paper — Digitized Version

Auftragsorientierte Bildung von Prüferteams für die taktische Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfgesellschaften

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 326

Provided in Cooperation with:
Christian-Albrechts-University of Kiel, Institute of Business Administration

Suggested Citation: Salewski, Frank; Schirmer, Andreas; Drexl, Andreas (1993) : Auftragsorientierte Bildung von Prüferteams für die taktische Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfgesellschaften, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 326, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/155405

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Nr. 326

Auftragsorientierte Bildung von Prüferteams für die taktische Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften

Salewski / Schirmer / Drexl

September 1993

Dipl.-Inform. *Frank Salewski*, Professor Dr. rer. pol. *Andreas Drexl*, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Dipl.-Inform. *Andreas Schirmer*, KPMG Unternehmensberatung GmbH, Hamburg

1. Einleitung

Im Rahmen der Prüfungsplanung[1] müssen u. a. Entscheidungen über die Bildung von Prüferteams und deren Zuordnung zu Aufträgen getroffen werden. Darüber hinaus ist festzulegen, in welchem Umfang und zu welchen Zeitpunkten bestimmte Prüfungshandlungen erfolgen sollen. Gleichzeitig sind z. B. aus dem Stufengesetz der Prüfung resultierende Reihenfolgebeziehungen, durch beschränkte personelle Ressourcen bedingte Kapazitätsrestriktionen sowie auftragsspezifische Anfangs- und Endtermine zu berücksichtigen.

Die derzeit bekannten Ansätze zur Personaleinsatzplanung basieren auf (mehr oder weniger) gravierenden Vereinfachungen und entsprechen nicht der aus Anwendersicht erforderlichen Abbildung des Problems.[2] Zur Überwindung dieses Defizits wurde - basierend auf einer Umfrage unter den 200 größten Wirtschaftsprüfungsgesellschaften in der Bundesrepublik Deutschland - ein Ansatz konzipiert, der einen taktischen, einen taktisch-operativen und einen operativen Planungsbereich unterscheidet und hierarchisch strukturiert ist.[3]

Im vorliegenden Beitrag wird die taktische Planung vorgestellt, die Prüferteams Aufträgen für einen Zeitraum von drei bis zwölf Monaten auf Wochenbasis zuordnet, die Aufträge terminiert sowie die erforderlichen Bearbeitungsdauern je Prüfer festsetzt.[4]

Dazu wird zunächst eine Einordnung des taktischen Bereichs in das zugrunde liegende hierarchische Planungskonzept vorgenommen. Anschließend werden die Modellprämissen und das Modell dargestellt. Danach folgt die Beschreibung eines speziell an die Problemstruktur angepaßten heuristischen Verfahrensschemas. Anhand einer umfangreichen experimentellen Untersuchung wird dann gezeigt, daß dieses Verfahrensschema für praxisrelevante Problemstellungen gute Näherungslösungen in vernachlässigbarer Rechenzeit liefert. Eine kurze Bewertung sowie Hinweise auf weiterführende Forschungsarbeiten beschließen den Beitrag.

2. Hierarchisches Planungskonzept

Ausgehend von der Überlegung, daß sich ein praxisrelevantes Planungssystem an den Bedürfnissen der potentiellen Anwender orientieren muß, wurde eine Umfrage unter den 200 (bezogen auf die Zahl der beschäftigten Wirtschaftsprüfer) größten Prüfungsgesellschaften in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt. Zielsetzung dieser Untersuchung war es, detaillierte Informationen über den Planungsprozeß zu gewinnen, um zunächst bekannte

---

1 Zu den Möglichkeiten einer effizienten Prüfungsdurchführung siehe z. B. Drexl / Salewski (1991).

2 Zu einer detaillierten Diskussion der mangelnden Praxisrelevanz bisheriger Ansätze vgl. Salewski / Drexl (1993).

3 Aufbau und Auswertung der Umfrage mit konzeptionellem Ansatz sind in Salewski / Drexl (1993) dargestellt.

4 Zu den beiden übrigen Planungsbereichen siehe Salewski / Bartsch / Pesch (1993) und Salewski / Böttcher / Drexl (1993).

Ansätze anhand der daraus ableitbaren Anforderungen beurteilen und dann - aufbauend auf dieser Beurteilung - eine realitätsnähere Problembeschreibung vornehmen zu können.

Aus der Umfrage wurden zwei wesentliche Ergebnisse gewonnen. Zum einen zeigte sich, daß - neben Ansätzen wie z. B. denen von Bolenz / Frank[5] oder Rohde[6], die bereits in ihrer Modellformulierung Einschränkungen im Hinblick auf Lösungsverfahren aufweisen - auch problemspezifischere Ansätze wie die von Balachandran / Zoltners[7], Chan / Dodin[8] und Drexl[9] den Anforderungen der Prüfungspraxis nicht oder nur eingeschränkt gerecht werden. Zum anderen wurde festgestellt, daß die Personaleinsatzplanung meist in mehreren, aufeinanderfolgenden Stufen vorgenommen wird. Dabei lassen sich insgesamt drei Ebenen, nämlich eine taktische, eine taktisch-operative und eine operative Ebene identifizieren, die durch unterschiedliche Planungshorizonte, Periodenlängen, Entscheidungsträger, Planungsprobleme, -gegenstände und -ziele sowie ein schrittweise abnehmendes Aggregationsniveau charakterisiert werden.[10] Dieser Unterteilung folgend wurde ein dreistufiger Ansatz mit hierarchischer Struktur[11] konzipiert, dessen Annahmen und Modellformulierungen in wesentlichen Zügen auf aus der Erhebung gewonnenen Daten basieren. Der Ansatz untergliedert sich wie folgt:

- Die taktische Planung ordnet den Aufträgen Prüferteams zu und nimmt - auf Wochenbasis - die Terminierung der Aufträge sowie die Festsetzung der erforderlichen Bearbeitungsdauern je Prüfer für einen Zeitraum von drei bis zwölf Monaten vor.
- Die taktisch-operative Planung bestimmt - auf Basis von (Halb-)Schichten (Perioden mit einer Länge von vier Stunden) - für alle Prüfer je Woche die Abfolge und Zeiträume der Auftragsbearbeitungen.
- Die operative Planung dient - auf Stundenbasis - der Zuordnung von Prüfern zu Prüffeldern sowie der Terminierung der Prüffelder. Sie wird je Auftrag und Woche separat durchgeführt.

3. Präzisierung der Problemstellung für die taktische Planung

Üblicherweise kommt zur ordnungsgemäßen Durchführung eines Prüfungsauftrags nicht nur eine bestimmte Zusammensetzung eines Prüferteams in Betracht, sondern es können - unter Berücksichtigung der Grundsätze ordnungsmäßiger Abschlußprüfung (GoA)[12] - mehrere

---

5 Bolenz / Frank (1977).
6 Rohde (1978).
7 Balachandran / Zoltners (1981).
8 Chan / Dodin (1986); s. a. Dodin / Chan (1991).
9 Drexl (1989a) und Drexl (1990); s. a. Drexl (1989b) und Drexl (1991).
10 Zu einer detaillierten Diskussion siehe Salewski / Drexl (1993).
11 Zur hierarchischen (Produktions-) Planung siehe z. B. Hax / Candea (1984), Kistner / Steven (1991), Stadtler (1988), Switalski (1989).
12 Institut der Wirtschaftsprüfer (1989). Die wichtigsten GoA sind das Wirtschaftlichkeitsprinzip und die Forderung nach möglichst hoher Urteilssicherheit.

verschiedene Teamzusammensetzungen mit in der Regel unterschiedlichen Präferenzen in Erwägung gezogen werden. Die taktische Planung, für die die Unternehmensleitung einer Prüfungsgesellschaft verantwortlich zeichnet, hat die Zuordnung von möglichst "gut geeigneten" Prüferteams zu Aufträgen unter Beachtung bestimmter Restriktionen zum Ziel. Zur Operationalisierung dieser Zielvorschrift und der Nebenbedingungen sind einige Annahmen erforderlich.

3.1 Prämissen

a) Die Prüfungsgesellschaft nimmt die Planung für einen Zeitraum von $t = 1,...,T$ Perioden vor. Eine einzelne Periode umfaßt üblicherweise eine Woche; der Planungszeitraum beträgt je nach Größe der Prüfungsgesellschaft in der Regel 13, 26 oder 52 Perioden.

b) Innerhalb des Planungszeitraums sind $e = 1,...,E$ Prüfungsaufträge durchzuführen. Die Prüfungsaufträge können je Periode t höchstens D_{et} Zeiteinheiten lang bearbeitet werden.[13]

c) Jeder Auftrag e untergliedert sich in $p = 1,...,P_e$ Prüfungsabschnitte (z. B. Vor-, Zwischen- und Hauptprüfung).

d) Für jeden Prüfungsabschnitt (e, p) ist der zeitliche Rahmen der Bearbeitung durch einen frühesten Bearbeitungsbeginn λ_{ep} und einen spätesten Fertigstellungstermin δ_{ep} vorgegeben.

e) Jeder Prüfungsabschnitt (e, p) läßt sich in $s = 1,...,S_{ep}$ Teilprüfungsabschnitte untergliedern, die in genau einer Periode bearbeitet werden.[14]

f) Dem Prüfungsorgan stehen $a = 1,...,A$ Prüfer (Assistenten, Prüfungsleiter u. ä.) für Prüfungstätigkeiten zur Verfügung. Die Prüfer können je Periode t höchstens C_{at} Zeiteinheiten lang eingesetzt werden.

g) Für die Bearbeitung eines Auftrags e kommen $m = 1,...,M_e$ Prüferteams, bestehend aus einem oder mehreren Prüfern, alternativ in Betracht.[15] Die zur Bearbeitung eines Teilprüfungsabschnitts (e, p, s) durch einen Prüfer a bei einer bestimmten Teamzusammensetzung m erforderliche Prüfdauer beträgt k_{epsma} Zeiteinheiten.[16] Da die einzelnen Bearbeitungsalternativen üblicherweise nicht gleich bewertet werden, ist je Alternative die Zuordnung eines Präferenzwertes b_{em} vorgesehen.[17]

---

[13] Damit kann sichergestellt werden, daß ein Prüfungsauftrag nicht oder in nur eingeschränktem Umfang bearbeitet wird, falls beim Mandanten (z. B. wegen Quartalabschlußarbeiten) keine Ansprechpartner verfügbar sind.

[14] S_{ep} gibt folglich nicht nur die Anzahl der Teilprüfungsabschnitte wieder, sondern stellt wegen deren uniformer Dauer von je einer Periode auch die Bearbeitungsdauer des gesamten Prüfungsabschnitts dar.

[15] In der hier verwendeten Terminologie liegen bereits dann alternative Prüferteams vor, wenn sich zwei Prüferteams in ihrer Zusammensetzung in mindestens einem Prüfer unterscheiden.

[16] Weitere Varianten der Bearbeitung eines Auftrags sind dadurch möglich, daß nicht nur eine, sondern mehrere Bearbeitungsdauern je Prüfer und Teilprüfungsabschnitt genannt werden.

[17] Zu den grundsätzlichen Möglichkeiten der Präferenzfestlegung siehe z. B. Teufel (1992). Denkbar ist an dieser Stelle u. a. auch, daß die Präferenzen proportional zu den für eine Bearbeitungsalternative anfallenden Kosten gewählt werden.

h) Reihenfolgebeziehungen zwischen Teilprüfungsabschnitten eines Auftrags sind durch Mengen $\mathscr{V}_{eps}$ spezifiziert, die die unmittelbaren Vorgänger eines Teilprüfungsabschnitts (e, p, s) enthalten. Für die unmittelbaren Vorgänger (e, p', s') $\in \mathscr{V}_{eps}$ sind von der Bearbeitungsalternative m abhängige Mindest- und Maximalabstände $q_{ep's'psm}$ und $\hat{q}_{ep's'psm}$ einzuhalten.

3.2 Beispiel

Der Planungszeitraum einer Wirtschaftsprüfungsgesellschaft beträgt drei Wochen.[18] Während dieser Zeit sind drei Prüfungsaufträge e = 1, 2, 3 zu bearbeiten.

Auftrag 1: Sonderprüfung wegen unzulässiger Unterbewertung in Unternehmen A; zweiwöchige Prüfung (≙ ein Prüfungsabschnitt mit zwei Teilprüfungsabschnitten).

Auftrag 2: Prüfung des Jahresabschlusses des Unternehmens B; zweiwöchige Hauptprüfung, einwöchige Berichterstellung (≙ ein Prüfungsabschnitt mit zwei Teilprüfungsabschnitten und ein Prüfungsabschnitt mit einem Teilprüfungsabschnitt).

Auftrag 3: Prüfung des Berichts über die Beziehungen des Unternehmens C zu verbundenen Unternehmen; dreiwöchige Prüfung (≙ ein Prüfungsabschnitt mit drei Teilprüfungsabschnitten).

Die Aufträge können - mit Ausnahme einer Beschränkung von Auftrag 2 in der zweiten Woche auf 16 Stunden - in jeder Woche des Planungszeitraums während 40 Stunden bearbeitet werden. Aus frühesten Einlastungs- und spätesten Fertigstellungsterminen ergeben sich keine Restriktionen. Hinsichtlich der Reihenfolgebeziehungen ist lediglich sicherzustellen, daß die Berichterstellung von Auftrag 2 erst nach Abschluß der Hauptprüfung beginnt.

Für die Durchführung der Aufträge stehen drei Prüfer a = 1, 2, 3 mit jeweils 40 Arbeitsstunden in der ersten und dritten und - wegen Urlaub - mit jeweils 32 Arbeitsstunden in der zweiten Woche zur Verfügung. Während für Auftrag 1 nur eine Form der Bearbeitung mit $b_{11} = 7$ möglich ist, können die Aufträge 2 und 3 in jeweils zwei Bearbeitungsalternativen mit Präferenzwerten $b_{21} = 10$, $b_{22} = 7$ bzw. $b_{31} = 10$, $b_{32} = 5$ durchgeführt werden,.

Tabelle 1 enthält die Bearbeitungsdauern k_{epsma}. Die Bedeutung der Eintragungen soll anhand der ersten Bearbeitungsalternative von Auftrag 3 verdeutlicht werden. Zur Durchführung werden die Prüfer 1 und 2 benötigt, die den ersten Teilprüfungsabschnitt 24 bzw. 16 Stunden lang bearbeiten. Der zweite Teilprüfungsabschnitt wird nur noch von Prüfer 1 während 40 Stunden bearbeitet, während die Durchführung des dritten Teilprüfungsabschnittes im Gegensatz zur zweiten Bearbeitungsalternative entfällt. Aus diesem Sachverhalt wird ersichtlich, daß - aus Gründen der logischen Konsistenz - die Prüfungsabschnitte zwar in jeder Bearbeitungs-

[18] Einige Parameter wie etwa die Länge des Planungszeitraums, die Anzahl der Prüfer und der Aufträge sind in diesem Beispiel aus Vereinfachungsgründen unrealistisch klein gewählt.

Tabelle 1: Bearbeitungsdauern

m	1			2		
a	1	2	3	1	2	3
k_{111ma}	16	-	16	-	-	-
k_{112ma}	4	-	8	-	-	-
k_{211ma}	24	-	-	0	24	24
k_{212ma}	24	-	-	8	12	4
k_{221ma}	16	-	-	0	40	40
k_{311ma}	24	16	-	-	40	-
k_{312ma}	40	0	-	-	16	-
k_{313ma}	0	0	-	-	32	-

alternative dieselben Prüfungsinhalte umfassen müssen, die Zugehörigkeit von Prüfungsinhalten zu Teilprüfungsabschnitten aber von der jeweiligen Bearbeitungsalternative abhängt. Damit ergibt sich die Gesamtbearbeitungsdauer eines Prüfungsabschnitts aus der gewählten Bearbeitungsalternative.

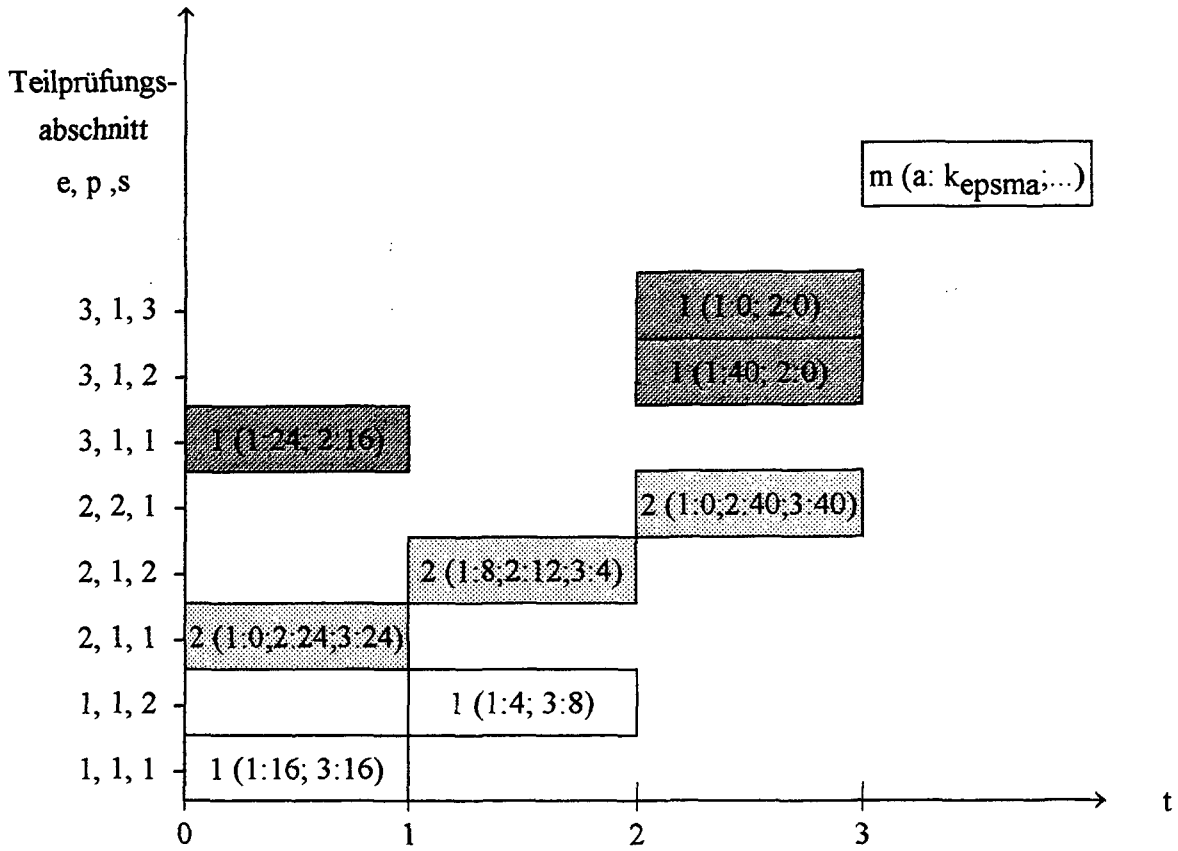
Ein optimaler Ablaufplan ist ein Plan, der nicht nur zulässig ist, also Reihenfolge-, Kapazitäts- und Terminrestriktionen berücksichtigt, sondern darüber hinaus das Zielkriterium optimiert. Das der taktischen Planung zugrunde liegende Zielkriterium der Zuordnung von möglichst "gut geeigneten" Prüferteams zu Aufträgen kann dabei durch die Maximierung der Summe der Präferenzwerte über die erfolgten Teamzuordnungen operationalisiert werden. Ein für das Beispiel optimaler Ablaufplan (Auftrags-Gantt-Diagramm) ist in Abbildung 1 wiedergegeben.

Abbildung 1 soll am Beispiel der Berichterstellung von Auftrag 2 erläutert werden (Teilprüfungsabschnitt (2, 2, 1)). Diese wird in der dritten Periode in der Bearbeitungsalternative 2 durchgeführt. In der gewählten Bearbeitungsalternative bearbeiten die Prüfer 1, 2 und 3 den Auftrag. Während die Prüfer 2 und 3 im Umfang von jeweils 40 Stunden mit der Berichterstellung befaßt sind, wirkt Prüfer 1 daran nicht mit.

Eine Besonderheit ergibt sich für den letzten Teilprüfungsabschnitt des Auftrags 3 (Teilprüfungsabschnitt (3, 1, 3)). Dieser wird - aus formalen Gründen - zwar eingeplant; eine kapazitätsbeanspruchende Bearbeitung erfolgt jedoch nur in der (hier nicht gewählten) zweiten Bearbeitungsalternative.

Darüber hinaus ist erkennbar, daß
- alle Aufträge vollständig durchgeführt werden,

Abbildung 1: Optimaler Ablaufplan



- alle Teilprüfungsabschnitte eines Auftrags in derselben Bearbeitungsalternative eingeplant sind,
- Reihenfolgebeziehungen bzw. Mindestabstände, die im Beispiel explizit für die Berichterstellung des Auftrags 2 formuliert sind, eingehalten werden,
- auftragsspezifische Bearbeitungsbeschränkungen wie für Auftrag 2 in der zweiten Woche berücksichtigt werden und
- Kapazitätsbeschränkungen der Prüfer beachtet werden.

Der Zielfunktionswert als Summe der Präferenzen für die gewählten Bearbeitungsalternativen beträgt 24 ($b_{11} + b_{22} + b_{31} = 7 + 7 + 10$).

3.3 Vorbereitende Berechnungen

Zur Vereinfachung der mathematischen Problemformulierung werden zunächst die Indizes e, p und s durch

$$j = g(e, p, s) = \sum_{e'=1}^{e-1} \sum_{p'=1}^{P_{e'}} S_{e'p'} + \sum_{p'=1}^{p-1} S_{ep'} + s$$

ersetzt. An Stelle von Parametern $\mathscr{V}_{eps}$, $q_{ep's'psm}$, $\hat{q}_{ep's'psm}$ und k_{epsma} erhält man damit $\mathscr{V}_j$, $q_{j'jm}$, $\hat{q}_{j'jm}$ und k_{jma}.

$f_e = g\,(e, 1, 1)$ sei dann der erste und $l_e = g\,(e, P_e, S_{eP_e})$ der letzte Teilprüfungsabschnitt von Auftrag e.

Des weiteren werden die Maximalabstände $\hat{q}_{j'jm}$ in Mindestabstände $q_{jj'm}$ transformiert sowie frühest- und spätestmögliche Endtermine EF_j und LF_j berechnet.[19] Schließlich sind in der Menge $\mathscr{H}_t = \{j \mid EF_j \le t \le LF_j\}$ diejenigen Jobs enthalten, die in t beendet werden können.

3.4 Modellformulierung

Definiert man Binärvariablen x_{jmt} mit der Bedeutung

$$x_{jmt} = \begin{cases} 1, & \text{falls Teilprüfungsabschnitt j in Bearbeitungsalternative m durchgeführt} \\ & \text{und zum Zeitpunkt t beendet wird,} \\ 0, & \text{sonst,} \end{cases}$$

so kann die Problemstellung durch folgendes binäre Optimierungsproblem beschrieben werden:

$$\text{Maximiere } Z(x) = \sum_{e=1}^{E} \sum_{m=1}^{M_e} b_{em} \sum_{t=EF_{f_e}}^{LF_{f_e}} x_{f_e mt} \tag{1}$$

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{m=1}^{M_e} \sum_{t=EF_{f_e}}^{LF_{f_e}} x_{f_e mt} = 1 \qquad (1 \le e \le E) \tag{2}$$

$$\sum_{t=EF_{f_e}}^{LF_{f_e}} x_{f_e mt} = \sum_{t=EF_j}^{LF_j} x_{jmt} \qquad (1 \le e \le E; f_e+1 \le j \le l_e;\ 1 \le m \le M_e) \tag{3}$$

$$\sum_{m=1}^{M_e} \sum_{t=EF_{j'}}^{LF_{j'}} (t + q_{j'jm})\, x_{j'mt} \le \sum_{m=1}^{M_e} \sum_{t=EF_j}^{LF_j} (t-1)\, x_{jmt} \qquad (1 \le e \le E; f_e \le j \le l_e;\ j' \in \mathscr{V}_j) \tag{4}$$

$$\sum_{m=1}^{M_e} \sum_{\substack{j=f_e \\ j \in \mathscr{H}_t}}^{l_e} k_{jma}\, x_{jmt} \le D_{et} \qquad (1 \le e \le E;\ 1 \le a \le A;\ 1 \le t \le T) \tag{5}$$

---

[19] Vgl. z. B. Domschke / Drexl (1991, S. 87 f.).

$$\sum_{e=1}^{E} \sum_{m=1}^{M_e} \sum_{\substack{j=f_e \\ j \in \mathscr{H}_t}}^{l_e} k_{jma}\, x_{jmt} \le C_{at} \qquad (1 \le a \le A;\ 1 \le t \le T) \quad (6)$$

$$x_{jmt} \in \{0, 1\} \qquad (1 \le e \le E; f_e \le j \le l_e;\ 1 \le m \le M_e;\ EF_j \le t \le LF_j) \quad (7)$$

In (1) stellt x den Vektor aller Binärvariablen dar; Z(x) ist der Zielfunktionswert für jeden zulässigen Vektor x, der die Nebenbedingungen (2) - (7) erfüllt. Da alle Teilprüfungsabschnitte eines Auftrags wegen der Nebenbedingungen (3) in derselben Bearbeitungsalternative durchgeführt werden, muß in der Zielfunktion lediglich die für den Teilprüfungsabschnitt f_e, also den ersten Teilprüfungsabschnitt eines Auftrags, gewählte Bearbeitungsalternative festgestellt werden. Jedes b_{em} ist mit der Summe der $x_{f_e mt}$ zu multiplizieren, wobei diese Summation auf die jeweiligen Beendigungszeitpunkte t mit $EF_{f_e} \le t \le LF_{f_e}$ beschränkt werden kann. Die Summe muß M_e-1 mal den Wert 0 und genau einmal den Wert 1 annehmen.

(2) erzwingt, daß der erste Teilprüfungsabschnitt jedes Auftrags genau einmal bearbeitet und im Zeitfenster $[EF_{f_e}, LF_{f_e}]$ beendet wird. Dies entspricht der obigen Aussage, daß die Summe der $x_{f_e mt}$ genau einmal den Wert 1 annimmt.

In Verbindung mit (2) garantiert (3), daß alle anderen Teilprüfungsabschnitte eines Auftrags ebenfalls genau einmal und in derselben Bearbeitungsalternative wie der erste Teilprüfungsabschnitt durchgeführt sowie im Zeitfenster $[EF_j, LF_j]$ beendet werden. Die korrekte Festlegung der Bearbeitungsalternative ergibt sich daraus, daß in (2) die Summe der $x_{f_e mt}$ M_e-1 mal den Wert 0 und nur in der gewählten Bearbeitungsalternative den Wert 1 aufweist.

(4) stellt sicher, daß zwischen allen Paaren von Teilprüfungsabschnitten, die in einer unmittelbaren Vorgänger-Nachfolger-Beziehung stehen, Mindestabstände beachtet werden. Insbesondere kann durch Mindestabstände mit einem Wert von -1 auch eine zeitgleiche Bearbeitung gestattet werden.

(5) sorgt für die Einhaltung auftragsspezifischer Bearbeitungsbeschränkungen, während (6) die Prüferkapazität je Periode berücksichtigt. In diesem Sinne stellen sowohl Aufträge als auch Prüfer erneuerbare Ressourcen dar.[20]

(7) gewährleistet die Binarität der Variablen x_{jmt}.

4. Verfahren

Klassische Methoden sind nicht in der Lage, das in Abschnitt 3 dargestellte Problem befriedigend zu lösen. Erstens ist es durch die Einordnung des Zulässigkeitsproblems als NP-

[20] Zu Varianten, die im Kontext von Arbeitszeitflexibilisierungen denkbar sind, siehe z. B. Günther (1989), Kossbiel (1992), Schneeweiß (1992).

vollständig bzw. des Optimierungsproblems als NP-hart[21] unwahrscheinlich, daß ein exaktes Verfahren in "angemessener" Zeit zulässige bzw. optimale Lösungen liefert. Zweitens kann das Problem nicht mittels traditioneller heuristischer Methoden zur Ablaufplanung gelöst werden, da die gewählte Modellformulierung mit den Nebenbedingungen (3) einen neuen, bislang in der Literatur nicht diskutierten Restriktionstyp beinhaltet.

Es wurde deshalb ein heuristisches Verfahrensschema entwickelt, das - unter Berücksichtigung der Problemstruktur - auf der Verwendung von Prioritätswerten basiert. Um jedoch die bekannten konzeptionellen Schwächen deterministischer Heuristiken zu überwinden, arbeitet das Verfahrensschema randomisiert, d. h. die Auswahl einer von mehreren Alternativen erfolgt zufällig, jedoch mit zu den Prioritätswerten proportionalen Wahrscheinlichkeiten.[22] Wegen dieses Nichtdeterminismus liefert ein randomisiertes Verfahren bei mehrfacher Anwendung auf dieselbe Instanz eines Problems mehrere unterschiedliche Lösungen, unter denen sich üblicherweise mindestens eine befindet, die besser als die von einer deterministischen Heuristik gefundene Lösung ist.

4.1 Algorithmisches Grundschema

Das im folgenden vorgestellte Verfahrensschema, das abkürzend als RAMSES (RAndomized Mode SElection and Scheduling) bezeichnet wird, unterscheidet zwei Phasen: In der ersten Phase wird jedem Prüfungsauftrag eine Bearbeitungsalternative zugeordnet, während in der zweiten Phase die Terminierung der Teilprüfungsabschnitte vorgenommen wird. Dieses Grundschema stellt dabei ein "Gerüst" dar, das für beide Phasen die Einbindung verschiedener Regeln zur Bestimmung der Prioritätswerte gestattet.

4.1.1 Zuordnung der Bearbeitungsalternativen (Phase 1)

In der ersten Phase wird jedem Auftrag eine Bearbeitungsalternative zugeordnet. Dies erfolgt für jeden Auftrag durch die zufällige Wahl einer der möglichen Alternativen. Dabei haben jedoch nicht alle Bearbeitungsalternativen eines Auftrages e die gleiche Wahrscheinlichkeit, gewählt zu werden: Die Auswahl orientiert sich an Prioritätswerten[23] $\overline{\omega}_{em}$, die aus Regeln ω berechnet werden.

Um sicherzustellen, daß alle Bearbeitungsalternativen eines Auftrages e, also auch die am wenigsten präferierte, eine Zuordnungswahrscheinlichkeit größer als Null erhalten, und um außerdem ein höheres Maß an Flexibilität bei der Zuordnung zu erreichen, werden diese Werte durch

---

21 Die Beweise werden in Schirmer (1993, S. 42 ff.) geführt.

22 Zu den Nachteilen deterministischer gegenüber randomisierten Verfahren vgl. z. B. Drexl (1990, S. 190 f.), Schirmer (1993, S. 30 f.).

23 Prioritätswerte werden zur Lösung von Auswahlkonflikten in unterschiedlichen Anwendungsbereichen verwendet; vgl. z. B. Dienstdorf (1972), Küpper (1982), Kurtulus / Narula (1985), Russell (1986). Verschiedene Prioritätsregeln zur Berechnung dieser Werte in den beiden Phasen werden in Abschnitt 4.2 vorgestellt.

$$\bar{\bar{\omega}}_{em} = (\bar{\omega}_{em} + \varepsilon)^{\alpha} \qquad (1 \leq m \leq M_e) \quad (8)$$

modifiziert, wobei es sich bei ε und α um nichtnegative reellwertige Parameter handelt.[24] Die Wahrscheinlichkeit $\tilde{\omega}_{em}$, daß Bearbeitungsalternative m von Auftrag e ausgewählt wird, beträgt dann

$$\tilde{\omega}_{em} = \bar{\bar{\omega}}_{em} / \left(\sum_{m'=1}^{M_e} \bar{\bar{\omega}}_{em'} \right) \qquad (1 \leq m \leq M_e) \quad (9)$$

Der Einfluß des Kontrollparameters α auf den Zuordnungsprozeß läßt sich wie folgt verdeutlichen: für $\alpha = 0$ haben alle Kombinationen identische $\bar{\bar{\omega}}_{em}$-Werte und damit dieselbe Zuordnungswahrscheinlichkeit; für α signifikant größer als 1 dominiert der größte $\bar{\omega}_{em}$-Wert, der zugehörige $\bar{\bar{\omega}}_{em}$-Wert geht gegen unendlich und damit die betreffende Zuordnungswahrscheinlichkeit $\tilde{\omega}_{em}$ gegen Eins.

4.1.2 Terminierung der Teilprüfungsabschnitte (Phase 2)

Das Vorgehen der zweiten Phase läßt sich in Form eines randomisierten parallelen[25] Verfahrens beschreiben. Ein Ablaufplan wird konstruiert, indem die Perioden des Planungshorizontes in chronologischer Reihenfolge betrachtet werden. In jeder Periode wird die Menge *EJ* aller Teilprüfungsabschnitte berechnet, die zum aktuellen Zeitpunkt ohne Verletzung der Restriktionen eingeplant werden können. Einer dieser Teilprüfungsabschnitte wird ausgewählt und zur Bearbeitung in der aktuellen Periode eingeplant. Liegt mehr als ein einplanbarer Teilprüfungsabschnitt vor, so erfolgt die Auswahl wiederum zufallsgesteuert und zwar gemäß Wahrscheinlichkeiten, die proportional zu Prioritätswerten $\bar{\pi}_j$ sind. Auf diese Weise werden Teilprüfpläne sukzessive erweitert, bis kein Teilprüfungsabschnitt mehr in der aktuellen Periode einplanbar ist. Dann wird die nächste Periode betrachtet, bis schließlich der Planungshorizont erreicht ist. Wurden alle Teilprüfungsabschnitte eingeplant, so stellt der konstruierte Ablaufplan eine zulässige Lösung des Problems dar, andernfalls ist er unzulässig.

Die Prioritätswerte werden dabei durch Regeln π festgelegt. Ausgehend von Prioritätswerten $\bar{\pi}_j$ für die aktuell einplanbaren Teilprüfungsabschnitte kann man dann - analog zu Abschnitt 4.1.1 - die modifizierten Prioritätswerte durch

$$\bar{\bar{\pi}}_j = (\bar{\pi}_j + \varepsilon)^{\beta} \qquad (j \in EJ) \quad (10)$$

berechnen, wobei es sich bei ε und β um nichtnegative reellwertige Parameter handelt.[26] Die

---

[24] In dieser Untersuchung wurde $\varepsilon = 1$ gesetzt. Die Frage, welche Werte für α gewählt werden sollten, wird in Abschnitt 5.3 behandelt.

[25] Zu der Unterscheidung zwischen seriellen und parallelen Verfahren siehe Kelley (1963, S. 352 ff.).

[26] In dieser Untersuchung wurde erneut $\varepsilon = 1$ gesetzt. Die Frage, welche Werte für β gewählt werden sollten, wird ebenfalls in Abschnitt 5.3 behandelt.

Wahrscheinlichkeit $\tilde{\pi}_j$, daß Teilprüfungsabschnitt j für eine Einplanung ausgewählt wird, ergibt sich zu

$$\tilde{\pi}_j = \bar{\bar{\pi}}_j / (\sum_{j' \in EJ} \bar{\bar{\pi}}_{j'}) \qquad (j \in EJ) \quad (11)$$

Jede Kombination der Regeln beider Phasen definiert - in Verbindung mit dem obigen Schema - einen eigenen Algorithmus (ω, π) zur Bearbeitung des taktischen Planungsproblems.

4.2 Prioritätsregeln

In diesem Abschnitt werden für jede der beiden Phasen einige Prioritätsregeln vorgestellt, die alternativ zum Einsatz kommen können.

4.2.1 Prioritätsregeln zur Zuordnung von Bearbeitungsalternativen zu Aufträgen

Die in der ersten Phase ausschließlich verwendete Prioritätsregel MAXimum PReFerence (MAX PRF) basiert auf verallgemeinerten Opportunitätskosten und spiegelt den Einfluß der betrachteten Zuordnung auf den Zielfunktionswert wider. Die Zuordnungswahrscheinlichkeiten werden folgendermaßen berechnet. Zunächst bezeichnet man für den gerade betrachteten Auftrag e den Präferenzwert der am wenigsten präferierten Bearbeitungsalternative:

$$b^{min} = \min \{b_{em} \mid 1 \leq m \leq M_e\} \qquad (12)$$

Zur Maximierung der Gesamtpräferenz berechnet man dann Prioritätswerte $\bar{\omega}_{em}$ als die größtmögliche Verringerung des Zielfunktionswertes, die eintreten könnte, wenn Auftrag e nicht in der Bearbeitungsalternative m bearbeitet werden würde:

$$\bar{\omega}_{em} = b_{em} - b^{min} \qquad (1 \leq m \leq M_e) \quad (13)$$

4.2.2 Prioritätsregeln zur Auswahl eines Teilprüfungsabschnitts

In diesem Abschnitt werden einige Prioritätsregeln vorgestellt, die in der zweiten Phase des Verfahrens alternativ zum Einsatz kommen können. Dabei werden reihenfolgebasierte, terminbasierte sowie ressourcenbasierte Regeln unterschieden. Im folgenden wird die einem Auftrag in der ersten Phase zugeordnete Bearbeitungsalternative mit m bezeichnet.

4.2.2.1 Reihenfolgebasierte Prioritätsregeln

Regeln dieses Typs setzen die Prioritätswerte in Beziehung zu den Reihenfolgebeziehungen zwischen den Teilprüfungsabschnitten.

- Most Total Successors (MTS)[27]

Diese (statische[28]) Regel bewertet die Teilprüfungsabschnitte entsprechend der Anzahl ihrer Nachfolger. Die zugrunde liegende Idee besteht darin, diejenigen Teilprüfungsabschnitte zuerst einzuplanen, auf deren Beendigung die größte Anzahl von (unmittelbaren und mittelbaren) Nachfolgern wartet, weil deren verspätete Einplanung die Bearbeitung aller nachfolgenden Teilprüfungsabschnitte verzögern würde.

Bezeichnet man für jeden auswählbaren Teilprüfungsabschnitt j die Menge aller seiner Nachfolger mit $\mathcal{N}_j$, also

$$\mathcal{N}_j = \{i \mid i \text{ ist unmittelbarer oder mittelbarer Nachfolger von } j\} \qquad (j \in \mathcal{EJ}) \quad (14)$$

so können die Prioritätswerte wie folgt berechnet werden:

$$\bar{\pi}_j = |\mathcal{N}_j| \qquad (j \in \mathcal{EJ}) \quad (15)$$

4.2.2.2 Terminbasierte Prioritätsregeln

Diese Regeln verwenden die Ergebnisse der klassischen Zeitplanung[29], die für die Bearbeitung der Teilprüfungsabschnitte frühest- und spätestmögliche Endtermine bestimmt. Während in der Modellformulierung dazu die Zeitpunkte EF_j und LF_j berücksichtigt werden, können an dieser Stelle - aufgrund der bereits erfolgten Zuordnung von Bearbeitungsalternativen zu den Aufträgen - unter Verwendung von $q_{j'jm}$ "genauere" Endtermine EF_{jm} und LF_{jm} zugrunde gelegt werden.

- MINimum Earliest Finishing Time (MIN EFT)[30]

Diese (statische) Regel präferiert Teilprüfungsabschnitte, die frühzeitig fertiggestellt werden können.
Um denjenigen Teilprüfungsabschnitten die höchsten Prioritäten zuzuordnen, die die kleinsten EF_{jm}-Werte aufweisen, berechnet man die Prioritäten zu

$$\bar{\pi}_j = T - EF_{jm} \qquad (j \in \mathcal{EJ}) \quad (16)$$

- MINimum Latest Finishing Time (MIN LFT)[31]

Man kann den spätesten Endtermin LF_{jm} eines Teilprüfungsabschnittes als ein Maß für dessen Dringlichkeit auffassen, weil seine Bearbeitung spätestens zu diesem Zeitpunkt

---

27 Siehe Alvarez-Valdés / Tamarit (1989).
28 Zur Unterscheidung zwischen statischen und dynamischen Regeln siehe z. B. Drexl / Kolisch (1993).
29 In der angelsächsischen Literatur meist als "critical-path analysis" bezeichnet; vgl. z. B. Levy / Thompson / Wiest (1963).
30 Siehe Alvarez-Valdés / Tamarit (1989).
31 Siehe Alvarez-Valdés / Tamarit (1989).

abgeschlossen sein muß. Die (statische) Regel MIN LFT ordnet dementsprechend die höchsten Prioritätswerte den dringendsten Teilprüfungsabschnitten zu.

$$\bar{\pi}_j = T - LF_{jm} \qquad (j \in \mathcal{EJ}) \quad (17)$$

- MINimum SLacK (MIN SLK)[32]

Der zeitliche Puffer[33] eines Teilprüfungsabschnittes ist als der Zeitraum zwischen seinem frühesten und seinem spätesten Endtermin definiert. Die (statische) Regel MIN SLK bevorzugt Teilprüfungsabschnitte mit kleinerem Puffer, weil diese in bezug auf Verzögerungen besonders kritisch sind.

$$\bar{\pi}_j = T - (LF_{jm} - EF_{jm}) \qquad (j \in \mathcal{EJ}) \quad (18)$$

4.2.2.3 Ressourcenbasierte Prioritätsregeln

Diese Regeln bewerten Teilprüfungsabschnitte anhand des durch ihre Bearbeitung verursachten Ressourcengebrauchs (wie z. B. der Inanspruchnahme der Ressource Prüfer), der Knappheit der beanspruchten Ressourcen oder einer Kombination beider Kriterien.

Für jeden auswählbaren Teilprüfungsabschnitt j bezeichne im folgenden $\mathcal{A}_{jm}$ die Menge aller Prüfer, die an der Bearbeitung von j in Alternative m tatsächlich beteiligt sind, d.h.

$$\mathcal{A}_{jm} = \{a \mid \text{Prüfer a bearbeitet j in Alternative m kapazitätswirksam}\} \qquad (j \in \mathcal{EJ}) \quad (19)$$

Bezeichne ferner v_{jm} den gesamten durch die Bearbeitung von j in Alternative m verursachten Kapazitätsgebrauch, also

$$v_{jm} = \sum_{a \in \mathcal{A}_{jm}} k_{jma} \qquad (j \in \mathcal{EJ}) \quad (20)$$

und v^{max} den höchsten Ressourcengebrauch v^{max} aller aktuell auswählbaren Teilprüfungsabschnitte:

$$v^{max} = \max \{v_{jm} \mid j \in \mathcal{EJ}\} \qquad (21)$$

Des weiteren sei für jeden einplanbaren Teilprüfungsabschnitt j RC_j die Restkapazität aller zugeordneten Prüfer mit

$$RC_j = \sum_{a \in \mathcal{A}_{jm}} RC_{at} \qquad (j \in \mathcal{EJ}) \quad (22)$$

Dabei ist RC_{at} die Restkapazität des Prüfers a in der Periode t, die unter Berücksichtigung der bereits erfolgten Einplanungen verbleibt.

---

32 Siehe Alvarez-Valdés / Tamarit (1989).

33 In der angelsächsischen Literatur als "slack" bezeichnet; vgl. z. B. Alvarez-Valdés / Tamarit (1989).

- MAXimum Total Resource Usage (MAX TRU)[34]

Diese (statische) Regel plant diejenigen Teilprüfungsabschnitte bevorzugt ein, durch deren Bearbeitung die Prüfer besonders stark nachgefragt werden.

$$\bar{\pi}_j = v_{jm} \qquad (j \in EJ) \quad (23)$$

- MINimum Total Remaining Capacity (MIN TRC)

Diese (dynamische) Regel bewertet Teilprüfungsabschnitte nach der Knappheit der von ihnen gebrauchten Ressourcen. Um die höchsten Prioritätswerte denjenigen Teilprüfungsabschnitten zuzuweisen, deren zugeordnete Prüfer in der aktuellen Periode insgesamt noch über die größte Restkapazität verfügen, werden die Prioritätswerte zu

$$\bar{\pi}_j = B - RC_j \qquad (j \in EJ) \quad (24)$$

berechnet. B repräsentiert dabei eine reelle Zahl, die genügend groß ist, um die Nichtnegativität von $\bar{\pi}_j$ zu gewährleisten.

- MAXimum Relative Resource Usage (MAX RRU)

Die (dynamische) Regel MAX RRU vergleicht den Ressourcengebrauch eines betrachteten Teilprüfungsabschnittes mit dem höchsten Ressourcengebrauch v^{max} aller aktuell auswählbaren Teilprüfungsabschnitte. Die zugewiesene Priorität ist um so höher, je größer der relative Gebrauch ist:

$$\bar{\pi}_j = v_{jm} / v^{max} \qquad (j \in EJ) \quad (25)$$

5. Experimentelle Untersuchung

Um die Leistungsfähigkeit von RAMSES bei der Bearbeitung konkreter Fragestellungen aus der Prüfungspraxis beurteilen zu können, wurde eine experimentelle Studie durchgeführt, in deren Rahmen das Verfahrensschema an einer Reihe von praxisnahen Datensätzen getestet wurde.

5.1 Erzeugung von Testdatensätzen

Um eine systematische und konsistente Erzeugung der Testdatensätze zu gewährleisten, wurden für jeden Modellparameter ein Wertebereich und eine Verteilungsfunktion auf diesem Wertebereich definiert. Bei der Generierung eines Datensatzes wurden dann für die einzelnen Modellparameter - entsprechend der jeweiligen Definition - zufällige Werte erzeugt.[35] Um sicherzustellen, daß die der Untersuchung zugrunde gelegten Datensätze praktische Planungssituationen mög-

---

[34] Vgl. die Regel GRES in Kurtulus / Davis (1982), Kurtulus / Narula (1985).
[35] Zu einer detaillierten Darstellung siehe Schirmer (1993).

lichst realistisch widerspiegeln, berücksichtigen die Definitionen so weit wie möglich die Ergebnisse der eingangs erwähnten Umfrage. Durch ein (aufwendiges) Generierungsverfahren wird außerdem für jeden Datensatz die Existenz mindestens einer zulässigen Lösung garantiert.

Zwei datensatzbezogene Faktoren sind von besonderem Interesse für die Leistungsfähigkeit von Lösungsmethoden: zum einen die Größe eines Datensatzes (z. B. Länge des Planungszeitraums, Anzahl der Teilprüfungsabschnitte und der Bearbeitungsalternativen), zum anderen die Anzahl der existierenden zulässigen Lösungen als Merkmal für den Schwierigkeitsgrad.

Obwohl die Größe eines Datensatzes von mehreren Modellparametern bestimmt wird, hat sich gezeigt, daß alle diese Parameter - direkt oder indirekt - von der Länge des Planungshorizontes abhängen. Im folgenden werden die Datensätze ihrer Größe nach in drei Klassen unterteilt. Der Planungshorizont beträgt bei *kleinen* Datensätzen 13 Wochen, bei *mittelgroßen* Datensätzen 26 Wochen und bei *großen* Datensätzen 52 Wochen. Darüber hinaus wurden *sehr kleine* Datensätze erzeugt. Diese entsprechen zwar keinen realen Planungsproblemen, sind dafür aber mit Standardsoftware wie OSL und LINDO exakt lösbar und können daher der Erzeugung von Referenzlösungen dienen.

Der Schwierigkeitsgrad eines Datensatzes gibt an, wie leicht oder schwer der betreffende Datensatz zu lösen ist. In dieser Studie wird dafür die Kapazität der Prüfer als einzig entscheidend angesehen: Je größer die Prüferkapazität ist, desto leichter lösbar ist der entsprechende Datensatz, weil sich bei ansonsten identischen Parameterinstanziierungen die Zahl der zulässigen Lösungen erhöht. Bezüglich des Schwierigkeitsgrades werden *leichte*, *mittlere* und *schwere* Datensätze unterschieden.

5.2 Statistisches Modell und Bewertungsfunktionen

Für die statistische Auswertung wird die Anwendung des Verfahrens als ein Zufallsexperiment betrachtet, dessen Ausgang durch mehrere Faktoren bestimmt wird.[36] Die wichtigsten Faktoren sind die Prioritätsregelen ω und π, die Größe σ und der Schwierigkeitsgrad τ des Datensatzes, die Werte der Kontrollparameter α und β sowie die Anzahl ι der Iterationen.

Ein Experiment läßt sich nun beschreiben, indem man für jeden Faktor eine Menge von Werten angibt, die er während des Experimentes annehmen soll; die Angabe jeweils eines einzigen Wertes für jeden Faktor spezifiziert einen Lauf eines Experimentes.

Der Ausgang eines Laufes wird durch die folgenden Größen beschrieben: den Zielfunktionswert der besten in einem Lauf gefundenen Lösung, die Anzahl der Versuche bzw. Iterationen, die eine zulässige Lösung lieferten, den Prozentsatz an Teilprüfungsabschnitten, der im Durchschnitt eingeplant werden konnte, und die durchschnittliche Rechenzeit pro Iteration. Diese Größen werden als Zufallsvariablen angesehen, die sich als Funktionen der genannten

---

[36] Ähnliche statistische Modelle werden z. B. in Kurtulus / Davis (1982), Kurtulus / Narula (1985) sowie Alvarez-Valdés / Tamarit (1989) verwendet.

Faktoren darstellen lassen, wobei die jeweiligen Störgrößen als statistisch unabhängig und jeweils derselben kontinuierlichen Verteilung unterliegend angenommen werden.

Ausgehend von diesen Variablen, die die Ergebnisse eines einzelnen Laufes wiedergeben, lassen sich eine Reihe von Bewertungsfunktionen definieren, die die Ergebnisse des gesamten Experimentes in geeigneter Form zusammenfassen.

Die *Effizienzrate* $\phi_{\omega\pi\alpha\beta\sigma\tau\iota}$[37] eines Algorithmus (ω, π) mit den Kontrollparametern (α, β) für eine Klasse (σ, τ) berechnet sich - als Durchschnitt über alle getesteten Datensätze der Klasse - als Quotient aus dem Zielfunktionswert der besten von (ω, π) mit (α, β) in ι Iterationen gefundenen Lösung und dem Zielfunktionswert der besten bekannten Lösung für einen Datensatz.[38] Demzufolge ist $\phi_{\omega\pi\alpha\beta\sigma\tau\iota} \in [0,1]$. Ein Wert von 0 bedeutet, daß der Algorithmus (ω, π) mit den Kontrollparametern (α, β) für keinen Datensatz der Klasse (σ, τ) in ι Iterationen eine (zulässige) Lösung gefunden hat; ein Wert von 0.5, daß die gefundenen Lösungen - im Durchschnitt über alle getesteten Datensätze der Klasse - halb so gut sind wie die besten bekannten Lösungen; ein Wert von 1 schließlich, daß alle gefundenen Lösungen so gut wie die beste bekannte Lösung sind.

Die *Akzeptanzrate* $\chi_{\omega\pi\alpha\beta\sigma\tau\iota}$ setzt die Anzahl der erfolgreichen Versuche eines Laufes in Relation zu der Gesamtzahl der durchlaufenen Iterationen ι. Es gilt $\chi_{\omega\pi\alpha\beta\sigma\tau\iota} \in [0,1]$. Ein Wert von 0 gibt an, daß keine zulässige Lösung gefunden wurde; ein Wert von 0.5, daß - im Durchschnitt über alle getesteten Datensätze der Klasse - die Hälfte aller Iterationen erfolgreich war; ein Wert von 1, daß alle Iterationen zulässige Lösungen fanden.

Die *Zulässigkeitsrate* $\psi_{\omega\pi\alpha\beta\sigma\tau\iota}$ bezieht sich auf die Zahl der jeweils eingeplanten Teilprüfungsabschnitte, dividiert durch die Anzahl der jeweils ingesamt einzuplanenden Teilprüfungsabschnitte. Wiederum gilt $\psi_{\omega\pi\alpha\beta\sigma\tau\iota} \in [0,1]$. Ein Wert von 0 bedeutet, daß kein einziger Teilprüfungsabschnitt eingeplant wurde; ein Wert von 0.5, daß - im Durchschnitt über alle getesteten Datensätze der Klasse - die Hälfte der Teilprüfungsabschnitte eingeplant wurde; ein Wert von 1, daß alle Teilprüfungsabschnitte eingeplant wurden, daß also alle gefundenen Lösungen zulässig sind. Während $\phi_{\omega\pi\alpha\beta\sigma\tau\iota}$ angibt, wie weit die zulässigen Lösungen von der Optimalität - gemessen am besten bekannten Lösungswert - entfernt sind, kann $\psi_{\omega\pi\alpha\beta\sigma\tau\iota}$ als ein Maß dafür angesehen werden, wie weit alle erzeugten Lösungen im Durchschnitt von der Zulässigkeit entfernt sind.

Die *durchschnittliche Rechenzeit* $\upsilon_{\omega\pi\alpha\beta\sigma\tau\iota}$ schließlich gibt die Zeit an, die während eines Laufes im Durchschnitt zur Durchführung einer Iteration benötigt wurde.[39]

---

[37] Analog zu den angegeben Bewertungsfunktionen können Funktionen auf höherem Aggregationsniveau verwendet werden, die jedoch nicht explizit angegeben werden, da sie durch entsprechende Aggregation über einen oder mehrere der zur Indizierung verwendeten Parameter unmittelbar aus den diskutierten Bewertungsfunktionen hergeleitet werden können.

[38] Wird in einem Lauf keine zulässige Lösung ermittelt, so wird die untere Schranke von Null des vorliegenden Maximierungsproblems als Zielfunktionswert für die weiteren Berechnungen verwendet.

[39] RAMSES wurde in der Programmiersprache C auf einer IBM RISC/6000 Modell 550 implementiert.

5.3 Ergebnisse

Wegen des erheblichen Rechenaufwandes, der mit einer vollständigen Faktorenanalyse verbunden ist, wurden in die Untersuchung ausschließlich kleine Datensätze einbezogen.[40] Für jeden der drei Schwierigkeitsgrade wurden 10 Datensätze erzeugt, auf die die angegebenen Algorithmen angewendet wurden. Dabei wurden die Kontrollparameter α und β unabhängig voneinander über die Werte 0, 2 und 4 variiert. Pro Datensatz wurden für jede Kombination aus Prioritätsregeln[41] beider Phasen und aus Werten der Kontrollparameter 1000 Iterationen[42] durchgeführt, also 270 000 Iterationen je Regel und 1 890 000 Iterationen insgesamt[43].

Zunächst sollen die Auswirkungen einer Variation der Werte von α und β aufgezeigt werden:

- Je größer α gewählt wird, desto höher liegt die Effizienzrate und damit der durchschnittliche Zielfunktionswert der Lösungen: Da in der ersten Phase die Auswahlwahrscheinlichkeiten auf Basis der Präferenzwerte berechnet werden, erhöhen größere α-Werte die Wahrscheinlichkeit, daß stark präferierte Bearbeitungsalternativen eines Auftrages gewählt werden.[44] Andererseits jedoch führen größere Werte von α zu niedrigeren Akzeptanz- und Zulässigkeitsraten: da kein Zusammenhang zwischen dem Präferenzwert einer Bearbeitungsalternative und ihrem Einfluß auf die Zulässigkeit des gesamten Ablaufplans besteht, kann die Auswahl einer stark präferierten Alternative zur Unzulässigkeit des gesamten Ablaufplans führen.
- Im Gegensatz dazu hat der Parameter β keinen allgemeingültigen Einfluß auf eine der Bewertungsfunktionen. Die Effizienzrate wird von β überhaupt nicht beeinflußt, da der Zielfunktionswert einer Lösung bereits in der ersten Phase festgelegt wird. Auch die Akzeptanz- und Zulässigkeitsraten hängen nicht eindeutig von β ab. Höhere β-Werte machen die frühe Einplanung von Teilprüfungsabschnitten mit hohen Prioritätswerten wahrscheinlicher.[45] Da aber nicht jede Regel zur Lösung jedes Datensatzes gleich gut geeignet ist, kann ein hoher Wert von β sowohl zu über- als auch zu unterdurchschnittlichen Akzeptanz- und Zulässigkeitsraten führen.

Insgesamt lassen diese Beobachtungen das folgende Vorgehen bei der Festlegung von Werten für die Kontrollparameter sinnvoll erscheinen:

---

40 Jedoch ist die These, daß Prioritätsregeln, die für kleinere Datensätze gute Ergebnisse liefern, dies auch für größere Datensätze tun, weitgehend akzeptiert; vgl. Davis / Patterson (1975), Badiru (1988), Alvarez-Valdés / Tamarit (1989).

41 Im folgenden wird verkürzend von der Anwendung bestimmter Regeln anstelle der Anwendung des Schemas unter Verwendung dieser Regeln gesprochen.

42 Diese Zahl erscheint zunächst unnötig hoch. Ein früheres, hier nicht dokumentiertes Experiment, bei dem jeweils 100 Iterationen durchgeführt wurden, lieferte jedoch keine signifikant unterschiedlichen Ergebnisse.

43 Dieser Wert ergibt sich als die Anzahl aller möglichen Kombinationen von jeweils 10 Datensätzen für 3 Schwierigkeitsgrade, jeweils 3 Werten für die Parameter α und β, 1000 Iterationen, 1 Prioritätsregel für die erste und 7 Prioritätsregeln für die zweite Phase.

44 Vgl. (8) und (9).

45 Vgl. (10) und (11).

Man beginne mit einem niedrigen α-Wert (z. B. 0) und teste verschiedene β-Werte, bis ein für den betrachteten Datensatz geeignet erscheinender β-Wert gefunden ist. Man erhöhe nun bei festgehaltenem β den Wert von α und führe einen weiteren Lauf durch; im allgemeinen sollte dieser Lauf weniger zulässige Lösungen mit gleichzeitig besserem Zielfunktionswert liefern. Dieser Schritt ist zu wiederholen, bis die Akzeptanzrate den Wert 0 erreicht oder sich ihm annähert.

Zur Beurteilung der Prioritätsregeln sind die Ergebnisse der Untersuchung in Tabelle 2 zusammengefaßt. Die einzelnen Regeln sind in absteigender Reihenfolge der Werte ihrer Bewertungsfunktionen aufgeführt. Tabelle 2 erlaubt die folgenden Schlußfolgerungen:[46]

Tabelle 2: Rangfolge der Prioritätsregeln

$\phi_{\pi\sigma\tau}$				$\psi_{\pi\sigma\tau}$					
leicht		mittel		leicht		mittel		schwer	
MIN TRC:	0.977	MIN SLK:	0.982	MTS:	0.930	MTS:	0.827	MIN TRC:	0.675
MIN SLK:	0.953	MIN TRC:	0.970	MIN TRC:	0.928	MIN TRC:	0.823	MTS:	0.674
MTS:	0.949	MAX TRU:	0.956	MIN LFT:	0.925	MIN LFT:	0.818	MIN LFT:	0.663
MAX RRU:	0.938	MIN EFT:	0.952	MIN SLK:	0.923	MIN SLK:	0.813	MIN SLK:	0.657
MIN LFT:	0.938	MIN LFT:	0.948	MIN EFT:	0.918	MIN EFT:	0.807	MIN EFT:	0.653
MIN EFT:	0.934	MAX RRU:	0.947	MAX RRU:	0.918	MAX RRU:	0.805	MAX RRU:	0.650
MAX TRU:	0.932	MTS:	0.914	MAX TRU:	0.914	MAX TRU:	0.799	MAX TRU:	0.642

$\chi_{\pi\sigma\tau}$				$\upsilon_{\pi\sigma\tau}$[47]					
leicht		mittel		leicht		mittel		schwer	
MIN TRC:	0.031	MIN TRC:	0.002	MAX TRU:	12.500	MAX TRU:	11.210	MAX TRU:	9.380
MIN LFT:	0.030	MIN LFT:	0.001	MIN SLK:	12.530	MIN SLK:	11.810	MIN SLK:	9.960
MIN SLK:	0.029	MIN SLK:	0.001	MTS:	12.670	MTS:	11.860	MTS:	10.020
MTS:	0.027	MTS:	0.001	MIN EFT:	12.680	MIN LFT:	12.240	MIN EFT:	10.220
MAX RRU:	0.026	MIN EFT:	0.001	MIN LFT:	12.940	MIN EFT:	12.250	MAX RRU:	10.300
MIN EFT:	0.026	MAX RRU:	0.001	MAX RRU:	13.900	MAX RRU:	12.470	MIN LFT:	10.350
MAX TRU:	0.024	MAX TRU:	0.001	MIN TRC:	16.120	MIN TRC:	15.640	MIN TRC:	13.240

- Der Schwierigkeitsgrad eines Datensatzes hat bezüglich der Effizienzraten einen erheblichen Einfluß auf den Rang der Regeln MTS, MAX RRU, MIN EFT und MAX TRU, während der Rang der übrigen Regeln von dem jeweiligen Schwierigkeitsgrad nicht oder nur unwesentlich beeinflußt wird. Die Rangfolgen der einzelnen Regeln erweisen sich hinsichtlich der Akzeptanz- und der Zulässigkeitsraten als insgesamt relativ immun gegenüber einer

[46] Da für keinen der schweren Datensätze eine zulässige Lösung gefunden wurde, werden für diese nur die Werte der Zulässigkeitsraten und die durchschnittlichen Rechenzeiten bestimmt.

[47] Angaben in Millisekunden.

Variation des Schwierigkeitsgrades.

- Die Regeln MIN SLK und MIN TRC bilden zusammen eine Gruppe, die signifikant bessere Ergebnisse liefert als alle übrigen Regeln. MIN SLK nimmt bezüglich der Effizienz stets den ersten oder zweiten Platz in der Rangfolge ein, MIN TRC sogar den ersten oder zweiten Platz bezüglich aller drei Maße.

- Dynamische Prioritätsregeln berücksichtigen per definitionem aktuellere und damit genauere Informationen als statische Regeln. Es wurde daher angenommen, daß die dynamischen Regeln bei etwas größeren Rechenzeiten bessere Ergebnisse liefern würden. Tatsächlich jedoch ließ sich - außer bei den Rechenzeiten - kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen nachweisen.

Zu den benötigten Rechenzeiten ist folgendes anzumerken. Zu Vergleichszwecken wurde versucht, die kleinen Datensätze zusammen mit 30 weiteren sehr kleinen Datensätzen[48] mit dem Optimierungsprogramm LINDO (Version 5.0) zu lösen. Sowohl LINDO als auch RAMSES fanden für alle sehr kleinen Datensätze die jeweilige Optimallösung.[49] Während RAMSES jedoch pro Datensatz für 1000 Iterationen im Durchschnitt etwa 0.6 Sekunden benötigte, nahm die Lösung mit LINDO einige Sekunden bis Minuten in Anspruch. Ein Vergleich der Rechenzeiten wird in Tabelle 3 vorgenommen.

Tabelle 3: Durchschnittliche Rechenzeiten für sehr kleine Datensätze

	RAMSES (1000 Iterationen)[50]			LINDO		
	leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
$\upsilon_{\sigma\tau}$	0:00.59	0:00.61	0:00.66	1:04.31	3:08.56	3:18.10
Maximum	0:01.00	0:01.06	0:01.08	2:52.96	18:13.24	12:25.10
Std. Abw.	0:00.25	0:00.25	0:00.23	0:56.86	5:19.33	4:18.42

Einträge im Format Minuten : Sekunden . Millisekunden Std. Abw. = Standardabweichung

Die Überlegenheit von RAMSES gegenüber LINDO wird für die kleinen leichten Datensätze noch deutlicher. LINDO fand innerhalb eines Zeitlimits von 1500 Minuten nur für vier der insgesamt zehn Datensätze eine Lösung; die benötigten Rechenzeiten beliefen sich auf ca. 2, 5 3/4, 10 3/4 und 11 1/4 Stunden. Im Gegensatz dazu fand jede Regel für jeden dieser Datensätze eine zulässige Lösung und für die von LINDO gelösten Datensätze die Optimallösung; im Durchschnitt wurden dabei 12 Sekunden für 1000 Iterationen benötigt.

In einem weiteren Versuch, die untersuchten Datensätze mit Standardsoftware zu lösen,

---

48 Wiederum wurden für jeden Schwierigkeitsgrad 10 Datensätze generiert.

49 Das Ergebnis erlaubt jedoch keine allgemeingültigen Rückschlüsse, da diese Datensätze zu klein sind, um noch praktische Relevanz zu besitzen.

50 Zur besseren Vergleichbarkeit wird hier für RAMSES die im Durchschnitt für 1000 Iterationen benötigte Rechenzeit angegeben.

wurde OSL (Release 2) eingesetzt. Obwohl OSL in der Regel erheblich schneller arbeitet als LINDO, fand es innerhalb eines Zeitlimits von ebenfalls 1500 Minuten nur für zwei der kleinen leichten Datensätze eine Lösung; die benötigten Rechenzeiten beliefen sich auf etwa 2 bzw. 59 Minuten. Diese beiden Datensätze gehörten im übrigen zu den vier von LINDO gelösten.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß RAMSES in der Lage ist, zumindest für kleine Problemstellungen der taktischen Planung Lösungen in Sekundenbruchteilen zu konstruieren. Selbst die Durchführung einer hohen Anzahl von z. B. 1000 Iterationen zur Erzeugung "guter" Lösungen nimmt daher nur einige Sekunden in Anspruch.

Während die bisher verwendeten Effizienzraten die heuristisch gefundenen Lösungen nur jeweils mit der besten bekannten Näherungslösung vergleichen können, erlaubt die Anwendung von LINDO zumindest für einige Datensätze einen direkten Vergleich mit den Optimallösungen. Die entsprechende Effizienzrate beträgt für die vier optimal gelösten Datensätze 0.941. Zumindest für kleinere Problemstellungen und nicht-knappe Ressourcen ist RAMSES offensichtlich in der Lage, nahezu optimale Lösungen zu liefern. Bei knappen Ressourcen liefert RAMSES zwar möglicherweise keine zulässige Lösung, kann aber durch eine Einplanung eines Großteils der Teilprüfungsabschnitte immer noch wesentlich zur Rationalisierung und Kostensenkung der Planungsdurchführung beitragen.

6. Resultate und Perspektiven

Bisher bekannte Modellansätze stellen die Problemstellung der Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften aus praktischer Sicht nur unzulänglich dar. Basierend auf den Ergebnissen einer Umfrage unter 200 der größten Prüfungsunternehmen in der Bundesrepublik Deutschland wurde ein dreistufiger, hierarchischer Planungsansatz konzipiert, der dieses Defizit weitgehend überwindet. Der Ansatz unterscheidet eine taktische, eine taktisch-operative und eine operative Planungsebene; die taktische Ebene wurde ausführlich dargestellt. Da herkömmliche Methoden der Ablaufplanung zur Bearbeitung dieses Problems ungeeignet sind, wurde zur Lösung ein randomisiertes heuristisches Verfahrensschema entwickelt. Dieses Schema ist unter Verwendung verschiedener Prioritätsregeln in der Lage, gute Näherungslösungen in vernachlässigbarer Rechenzeit zu liefern.

Die ermutigenden Resultate lassen eine Anpassung des vorgeschlagenenen Verfahrensschemas an die übrigen Planungsebenen des hierarchischen Modells vielversprechend erscheinen. Die grundlegenden Ideen (Randomisierung, Nutzung von Prioritätswerten, Modifikation durch exponentielle Faktoren) sind darüber hinaus allgemein genug, um leicht auch in anderen Bereichen eingesetzt werden zu können.

Um den Forderungen der Prüfungspraxis nach einem nicht nur leistungsfähigen, sondern zugleich auch besonders flexiblen Planungsinstrument gerecht zu werden, bedarf es der

Entwicklung eines Konzepts zur revidierenden Planung.[51] Damit können die nach einem Planungslauf neu hinzugekommenen Informationen vom Anwender entsprechend seinen Bedürfnissen abgestuft berücksichtigt werden. Nach der Programmierung einer benutzerfreundlichen Oberfläche ist das System zur Beurteilung seiner Leistungsfähigkeit abschließend einem Praxistest zu unterziehen, der dann als erfolgreich anzusehen ist, wenn das vorliegende Planungstool maßgeblich zur Reduzierung des Planungsaufwands und einer Verbesserung des Personaleinsatzes beitragen kann.

[51] Das Konzept wird in Salewski / Nissen (1993) vorgestellt.

Zusammenfassung

Basierend auf den Ergebnissen einer empirischen Untersuchung wurde ein hierarchischer Ansatz zur Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften entwickelt, der die Teilprobleme der taktischen, der taktisch-operativen und der operativen Planung umfaßt. Der vorliegende Beitrag setzt sich mit der taktischen Planung auseinander. Das Problem wird zunächst als binäres Optimierungsproblem formuliert. Anschließend wird ein speziell an die Problemstruktur angepaßtes heuristisches Verfahrensschema vorgestellt, das unter Verwendung von Prioritätswerten randomisierte Auswahlentscheidungen trifft. Die Eignung des Verfahrensschemas wird in einer umfangreichen experimentellen Untersuchung nachgewiesen.

Summary

Based upon an empirical survey, an hierarchical framework for audit-staff scheduling has been developed which distinguishes between a tactical, a tactical-operational and an operational level. In our paper we investigate the tactical level. A binary optimization model is formulated, which adequately represents the problem. Afterwards, a randomized heuristic scheme specifically tailored to the problem structure is described which uses priority values to base randomized selection decisions upon. Its suitability is demonstrated in an extensive computational experiment.

Literatur

Alvarez-Valdés, R. / Tamarit, J.M. (1989): Heuristic algorithms for resource-constrained project scheduling: A review and an empirical analysis, in: Slowinski, R. / Weglarz, J. (Hrsg.): Advances in project scheduling, Amsterdam, S. 113-134.

Badiru, A.B. (1988): Towards the standardization of performance measures for project scheduling heuristics, in: IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 35, S. 82-89.

Balachandran, B.V. / Zoltners, A.A. (1981): An interactive audit-staff scheduling decision support system, in: The Accounting Review, Vol. 56, S. 801-812.

Bolenz, G. / Frank, R. (1977): Das Zuordnungsproblem von Prüfern zu Prüffeldern unter Berücksichtigung von Reihenfolgebeziehungen - Ein Lösungsansatz der binären Optimierung, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Jg. 29, S. 427-447.

Chan, K.H. / Dodin, B. (1986): A decision support system for audit-staff scheduling with precedence constraints and due dates, in: The Accounting Review, Vol. 61, S. 726-733.

Davis, E.W. / Patterson, J.H. (1975): A comparison of heuristic and optimum solutions in resource-constrained project scheduling, in: Management Science, Vol. 21, S. 944-955.

Dienstdorf, B. (1972): Kapazitätsanpassung durch Personalverschiebung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft , Jg. 67, S. 132-136.

Dodin, B. / Chan, K.H. (1991): Application of production scheduling methods to external and internal audit scheduling, in: European Journal of Operational Research, Vol. 52, S. 267-279.

Domschke, W. / Drexl, A. (1991): Einführung in Operations Research, 2. Auflage, Berlin u. a.

Drexl, A. (1989a): Zuordnung von Prüfern zu Prüffeldern unter Beachtung von Reihenfolge-, Kapazitäts- und Terminrestriktionen, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Jg. 41, S. 294-317.

Drexl, A. (1989b): Heuristische Scheduling-Verfahren zur Personaleinsatzplanung bei Unternehmensprüfungen, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 59, S. 193-212.

Drexl, A. (1990): Planung des Ablaufs von Unternehmensprüfungen, Stuttgart.

Drexl, A. (1991): Scheduling of project networks by job assignment, in: Management Science, Vol. 37, S. 1590-1602.

Drexl, A. / Kolisch, R. (1993): Produktionsplanung und -steuerung bei Einzel- und Kleinserienfertigung, in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, Jg. 22, S. 60-66, S. 102-103, S. 137-141.

Drexl, A. / Salewski, F. (1991): Expertensystembasierte Beurteilung des Internen Kontrollsystems bei Abschlußprüfungen, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 61, S. 755-776.

Günther, H. O. (1989): Produktionsplanung bei flexibler Personalkapazität, Stuttgart.

Hax, A.C. / Candea, D. (1984): Production and inventory management, Englewood Cliffs (N.J.).

Institut der Wirtschaftsprüfer in Deutschland e. V. (Hrsg.) (1989): FG 1 / 1988: Grundsätze ordnungsgemäßer Durchführung von Abschlußprüfungen, in: Die Wirtschaftsprüfung, Jg. 42, S. 9-19.

Kelley, J.E. (1963): The critical-path method: Resources planning and scheduling, in: Muth, J.F. / Thompson, G.L. (Hrsg.): Industrial scheduling, Englewood Cliffs (N.J.), S. 347-365.

Kistner, K.-P. / Steven, M. (1991): Die Bedeutung des Operations Research für die hierarchische Produktionsplanung, in: OR Spektrum, Bd. 13, S. 123-132.

Kossbiel, H. (1992): Personalbereitstellung bei Arbeitszeitflexibilisierung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 62, S. 175-198.

Küpper, H.-U. (1982): Ablauforganisation, Stuttgart - New York.

Kurtulus, I.S. / Davis, E.W. (1982): Multi-project scheduling: Categorization of heuristic rules performance, in: Management Science, Vol. 28, S. 161-172.

Kurtulus, I.S. / Narula, S.C. (1985): Multi-project scheduling: Analysis of project performance, in: IIE Transactions, Vol. 17, S. 58-66.

Levy, F.K. / Thompson, G.L. / Wiest, J.D. (1963): Introduction to the critical-path method, in: Muth, J.F. / Thompson, G.L. (Hrsg.): Industrial scheduling, Englewood Cliffs (N.J.), S. 331-345.

Rohde, M. (1978): Das Set-Partitioning-Problem: Wirtschaftliche Anwendungen und Algorithmen, Dissertation, FU Berlin.

Russell, R.A. (1986): A comparison of heuristics for scheduling projects with cash flows and resource restrictions, in: Management Science, Vol. 32, S. 1291-1300.

Salewski, F. / Bartsch, T. / Pesch, E. (1993): Auftragsterminierung für die taktisch-operative Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften, Arbeitspapier, Universität Kiel.

Salewski, F. / Böttcher, L. / Drexl, A. (1993): Prüffeldorientierte Zuordnung von Prüfern für die operative Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften, Arbeitspapier, Universität Kiel.

Salewski, F. / Drexl, A. (1993): Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften - Bestandsaufnahme und konzeptioneller Ansatz, erscheint in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft.

Salewski, F. / Nissen, R. (1993): Revidierende hierarchische Planung - Ein Konzept am Beispiel der Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften, Arbeitspapier, Universität Kiel.

Schirmer, A. (1993): Personaleinsatzplanung bei Unternehmensprüfungen - Modelle und Methoden, Diplomarbeit, Universität Kiel.

Schneeweiß, Ch. (1992): Arbeitszeitmanagement und hierarchische Produktionsplanung, in: Schneeweiß, Ch. (Hrsg.): Kapazitätsorientiertes Arbeitszeitmanagement, Heidelberg, S. 7-22.

Stadtler, H. (1988): Hierarchische Produktionsplanung bei losweiser Fertigung, Heidelberg.

Switalski, M. (1989): Hierarchische Produktionsplanung - Konzeption und Einsatzbereich, Heidelberg.

Teufel, B. (1992): Group Planning, Report, FAW Ulm.