

Drexl, Andreas; Kolisch, Rainer; Sprecher, Arno

Working Paper — Digitized Version

Neuere Entwicklungen in der computergestützten Projektplanung

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 379

Provided in Cooperation with:

Christian-Albrechts-University of Kiel, Institute of Business Administration

Suggested Citation: Drexl, Andreas; Kolisch, Rainer; Sprecher, Arno (1995) : Neuere Entwicklungen in der computergestützten Projektplanung, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 379, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/149836>

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.

Manuskripte
aus den
Instituten für Betriebswirtschaftslehre
der Universität Kiel

Nr. 379

**Neuere Entwicklungen in der
computergestützten Projektplanung**

Drexl / Kolisch / Sprecher



Nr. 379

**Neuere Entwicklungen in der
computergestützten Projektplanung**

Drexl / Kolisch / Sprecher

November 1995

Professor Dr. *Andreas Drexl*, Dr. *Rainer Kolisch*, Dr. *Arno Sprecher*
Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Christian-
Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, 24118 Kiel

1 Einleitung

Ein "Projekt" ist ein einmaliges, zeitlich, sachlich und räumlich begrenztes Vorhaben, das unter Verwendung knapper Ressourcen durchzuführen ist. Projektaufgaben sind i.d.R. relativ komplex und erfordern funktionsübergreifendes Wissen.¹ Maßnahmen zur Durchführung eines Projektes werden unter Projektmanagement subsumiert. Planung, Steuerung und Kontrolle von Aufgaben, Personal und Betriebsmitteln im Sinne der Projektziele bilden die Schwerpunkte. Aus der ursprünglichen Anwendung des Projektmanagement im technischen Bereich, z.B. zur Abwicklung von Großbauprojekten, hat sich ein breites Anwendungsspektrum entwickelt. Projekte zur Reorganisation, zur Entwicklung und Implementation von Informationssystemen, zur Produktentwicklung sowie zur Kundenauftragsfertigung seien exemplarisch genannt. Zusammenfassend läßt sich Projektmanagement als Führungskonzept zur Abwicklung komplexer, i.d.R. einmaliger Vorhaben interpretieren.

Der vorliegende Beitrag beschreibt neuere Entwicklungen der computergestützten Projektplanung. Abschnitt 2 gliedert die Projektplanung in das Projektmanagement ein. Abschnitt 3 beinhaltet das Grundmodell zur kapazitätstremen Projektplanung. Abschnitt 4 widmet sich der Charakterisierung von Probleminstanzen. Abschnitt 5 stellt eine Typisierung von Projektplänen vor. In Abschnitt 6 werden zwei fundamentale Verfahren zur Erzeugung von Projektplänen beschrieben. In Abschnitt 7 stellen wir klassische und neuere Prioritätsregeln dar, die für den Einsatz in beiden Verfahren geeignet sind. Abschnitt 8 ist (adaptiven) Stichprobenverfahren gewidmet. Abschnitt 9 geht näher auf Anwendungsfelder der Projektplanung bzw. des Projektmanagement ein. Schließlich folgen einige zusammenfassende Bemerkungen in Abschnitt 10.

2 Projektplanung und Projektmanagement

Wie oben bereits ausgeführt, ist ein "Projekt" ein einmaliges, zeitlich, sachlich und räumlich begrenztes Vorhaben, das unter Verwendung knapper Ressourcen durchzuführen ist. Projekte sind also "Sonderaufgaben", deren Erfüllung ein breites Kompetenzspektrum sowie eine "Sonderorganisation" erfordert.² Zu den Komponenten des Projektmanagement zählen das funktionelle, das institutionelle und das personelle Projektmanagement. Das *funktionelle Projektmanagement* umfaßt die Festlegung von Projektgegenstand, der Projektziele und der Projektaufgaben, die Instrumente zur Bewältigung der Aufgaben sowie die Prozeß- bzw. Ablauforganisation.³ Zum *institutionellen Projektmanagement* gehören die projektinterne Aufbauorganisation durch Verteilung von

¹ Vgl. etwa Krüger (1993).

² Vgl. z.B. Reiß (1995).

³ Siehe hierzu Gaitanides (1983), Küpper/Helber (1995) sowie Domschke et al. (1993).

Aufgaben, Kompetenz und Verantwortung sowie die projektexterne Aufbauorganisation durch Integration des Projektes in die Unternehmensorganisation. Das *personelle Projektmanagement* schließlich beinhaltet Projektträger, Projektkultur, etc.⁴

Zentrale Aufgabe des funktionellen Projektmanagement ist das Ressourcenmanagement.⁵ Bezeichnet man nicht nur Betriebsmittel als Ressourcen, sondern zählt man - wie wir das im folgenden tun - zu den Ressourcen auch das Personal, so gibt es hier Überschneidungen zum Personalmanagement.

Im Hinblick auf den obigen weit gefaßten Projektbegriff sind Projektplanung, -steuerung und -kontrolle zentrale Aufgaben des Projektmanagement. Die Projektplanung ist dabei von besonderer Bedeutung, weil den beiden anderen Aufgaben ohne sie eine fundierte Grundlage in Form realistischer Soll-Werte fehlt.⁶ Ferner stellt die Projektplanung auch die höchsten methodischen Anforderungen. Gegenstand der Projektsteuerung ist die Operationalisierung des Projektplans, während die Projektkontrolle der Erfassung des Projekt-Istzustandes sowie der Ermittlung und Analyse von Abweichungen zwischen Soll und Ist dient.

3 Grundmodell der Projektplanung

Wir beschreiben im folgenden ein klassisches Grundmodell der Projektplanung, das in der englischsprachigen Literatur auch als Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSPP) bezeichnet wird. Aufbauend auf einer vorgangsknotenorientierten, zyklenfreien, topologisch sortierten Repräsentation der Projektstruktur in Form eines MPM-Netzplanes⁷ dienen folgende Parameter zur Problemspezifikation:⁸

- J : Anzahl der Aktivitäten
- j : Aktivität ($1 \leq j \leq J$; $j = 1$ einzige Startaktivität, $j = J$ einzige Endaktivität)
- d_j : Bearbeitungsdauer von Aktivität j
- T : obere Schranke für die Durchlaufzeit
- \mathcal{P}_j : Menge der unmittelbaren Vorgänger von Aktivität j

⁴ Vgl. hierzu ausführlicher Krüger (1993); siehe zum Projektmanagement auch Madauss (1990) sowie Moder et al. (1983).

⁵ Zur Bedeutung der geeigneten Berücksichtigung beschränkt verfügbarer Ressourcen (in der Produktionsplanung und -steuerung und darüber hinaus) vgl. v.a. Drexel et al. (1994b).

⁶ Die Projektplanung bildet natürlich auch die Grundlage für ein Projektcontrolling. Vgl. zu Controlling-Konzepten schlechthin v.a. Küpper (1995) sowie zum Projektcontrolling Nandi/Dutta (1988).

⁷ Vgl. zu den Grundlagen der Netzplantechnik auch Altrogge (1994), Domschke/Drexel (1995), Küpper et al. (1975) sowie Schwarze (1994).

⁸ Wir betrachten nur solche Projektplanungsprobleme, bei denen alle Größen deterministisch und bekannt sind. Zu stochastischen Projektplanungsproblemen vgl. z.B. Neumann (1990).

- \mathcal{S}_j : Menge der unmittelbaren Nachfolger von Aktivität j
 EF_j : Frühester Endzeitpunkt von Aktivität j
 LF_j : Spätester Endzeitpunkt von Aktivität j
 ES_j : Frühester Anfangszeitpunkt von Aktivität j
 LS_j : Spätester Anfangszeitpunkt von Aktivität j ⁹
 \mathcal{R} : Menge der Ressourcen
 r : Ressource $r \in \mathcal{R}$
 K_r : Verfügbarkeit von Ressource $r \in \mathcal{R}$ in jeder Periode
 k_{jr} : Gebrauch von Ressource $r \in \mathcal{R}$ durch Aktivität j (in Einheiten pro Periode)

Ziel der Planung ist die Ermittlung eines zulässigen, d.h. die Reihenfolgebeziehungen und Kapazitätsbeschränkungen berücksichtigenden Ablaufplans, der ein vorgegebenes Zielkriterium optimiert. Unter Verwendung von *Binärvariablen* $x_{jt} := 1$ ($x_{jt} := 0$), falls die Bearbeitung von Aktivität j am Ende von Periode t (nicht) beendet wird, erhalten wir z.B. folgendes Modell zur Projektdauerminimierung:

$$\text{Minimiere } \sum_{t=EF_j}^{LF_j} t \cdot x_{jt} \quad (1)$$

unter Beachtung der Nebenbedingungen

$$\sum_{t=EF_j}^{LF_j} x_{jt} = 1 \quad (\text{für alle } j) \quad (2)$$

$$\sum_{t=EF_h}^{LF_h} t \cdot x_{ht} \leq \sum_{t=EF_j}^{LF_j} (t-d_j) x_{jt} \quad (\text{für alle } j, \text{ für alle } h \in \mathcal{P}_j) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J k_{jr} \sum_{q=t}^{t+d_j-1} x_{jq} \leq K_r \quad (\text{für alle } r, \text{ für alle } t) \quad (4)$$

$$x_{jt} \in \{0,1\} \quad (\text{für alle } j \text{ und } t) \quad (5)$$

Die Zielfunktion (1) sorgt dafür, daß die Bearbeitung der einzigen Endaktivität, der Senke des Netzplans, so früh wie möglich beendet wird und damit das gesamte Projekt so zügig wie möglich fertiggestellt wird. Die Restriktionen (2) sichern, daß jede Aktivität genau einmal im zulässigen Zeitfenster eingeplant und bearbeitet wird. Die Restriktionen (3) sorgen dafür, daß die technologisch bedingten Reihenfolgebeziehungen zwischen Akti-

⁹ Methoden zur Bestimmung der "Zeitfenster" $[ES_j, LF_j]$ finden sich z.B. in Domschke/Drexel (1995).

vitäten beachtet werden.¹⁰ Die Restriktionen (4) gewährleisten, daß zu keinem Zeitpunkt mehr Aktivitäten eingeplant werden als die Verfügbarkeit der Ressourcen erlaubt.

Für die Wahl der Projektdauerminimierung als Zielsetzung (1) sprechen vor allem die folgenden Überlegungen:¹¹

- Unter der Annahme, daß in einem gegebenen Zeitraum eine konstante Anzahl von Projekten durchzuführen ist, führt eine Verkürzung der Projektdauer zu einer Verringerung der zeitlichen Überlappung von Projekten und damit zu einer Reduktion der Planungs- und Steuerungskomplexität.
- Zahlungsvereinbarungen sehen i.a. vor, daß ein erheblicher Teil (90% und mehr) der Zahlungen erst bei Projektabschluß fällig wird. Kurze Durchlaufzeiten führen damit tendenziell zu reduzierten Kapitalbindungskosten.
- Weit in der Zukunft liegende Daten sind stärker mit Unsicherheit behaftet als weniger weit vom Planungszeitpunkt entfernte. Kurze Durchlaufzeiten reduzieren somit die Datenunsicherheit.
- Zeitliche Puffer zwischen voraussichtlicher Fertigstellung und vereinbartem Projektabschluß reduzieren die Gefahr von Terminüberschreitungen und damit einhergehende negative Folgen wie Konventionalstrafen.
- "Frühe" Auslastung der Ressourcen führt ceteris paribus dazu, daß Kapazitäten "später" weniger stark beansprucht werden. Damit eröffnen sich Möglichkeiten zur Annahme und Abwicklung weiterer Projekte. Obwohl diese Opportunitätskosten hinsichtlich noch nicht vorliegender Projekte schwer zu quantifizieren sind, kommt ihnen dennoch eine ganz erhebliche Bedeutung zu.

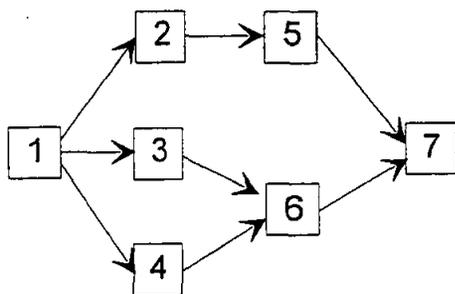


Abbildung 1: Projektnetzwerk

¹⁰ Durch Aufnahme (geeigneter) Reihenfolgebeziehungen kann der Fall der Multi-Projektplanung durch ein integriertes (Auftrags-)Netzwerk abgebildet werden; vgl. hierzu auch das Beispiel in Drexl/Kolisch (1993).

¹¹ Vgl. erneut Drexl/Kolisch (1993). Zu weiteren, insbesondere kostenorientierten Zielfunktionen vgl. etwa Knolmayer/Rückle (1976) sowie Slowinski et al. (1994). Zur Diskussion der ökonomischen Relevanz zeitlicher bzw. kostenorientierter Zielkriterien in der Projektplanung vgl. auch Küpper/Helber (1995, S. 246 f.).

Zur Verdeutlichung des Modells (1)-(5) betrachten wir das Beispiel mit dem Projekt-
netzwerk in *Abbildung 1* und den Projektdaten in *Tabelle 1*. Die Optimallösung für die-
ses Beispiel ist *Abbildung 2* zu entnehmen.

j	1	2	3	4	5	6	7
d_j	0	4	2	3	2	2	0
k_{j1}	0	2	1	3	1	2	0
$ Z = 1, K_1 = 4$							

Tabelle 1: Projektdaten

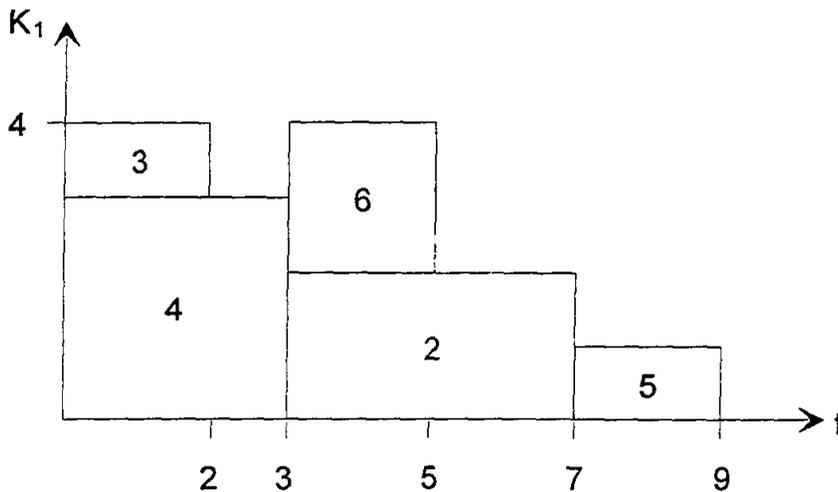


Abbildung 2: Optimallösung

4 Charakterisierung von Probleminstanzen

Das RCPSp ist ein NP-vollständiges Optimierungsproblem. Zu seiner Lösung wurden
zahlreiche exakte und heuristische Verfahren entwickelt. Die exakten Verfahren be-
stimmen einen hinsichtlich des Zielkriteriums optimalen Ablaufplan.¹² Sie basieren auf
dem Branch-and-Bound-Prinzip und verwenden i.d.R. verfahrensspezifische Regeln und
Schranken zur Begrenzung der Enumeration. Die zur Lösung eines gegebenen Problems
aufzuwendende Rechenzeit hängt wesentlich von der Problemstruktur ab. Während
"leichte" Instanzen mit bis zu 100 Vorgängen in Sekunden mit einem schnellen PC lösbar
sind, können "schwierige" Instanzen mit 30 Vorgängen nicht innerhalb von Tagen gelöst

¹² Am leistungsfähigsten sind derzeit die Verfahren von Demeulemeester und Herroelen (1992, 1995)
sowie Mingozzi et al. (1995).

werden.¹³ Die Bedeutung exakter Verfahren liegt somit primär in der Generierung von Benchmark-Ergebnissen zur experimentellen Evaluation heuristischer Verfahren. Für Projektplanungsprobleme der Praxis kommen i.d.R. nur heuristische Verfahren in Frage.

Heuristische Verfahren generieren Näherungslösungen. Ein wesentliches Kriterium zur Bewertung heuristischer Verfahren ist die Lösungsgüte, d.h. die (mittlere) prozentuale Abweichung der Näherungslösung vom Optimum. Von besonderer Bedeutung sind nach wie vor Prioritätsregelverfahren.¹⁴ Sie sind einerseits durch die zugrundeliegende Komponente zur Erzeugung von Projektplänen¹⁵ und andererseits durch die verwendete Prioritätsregel¹⁶ gekennzeichnet. Für die Durchführung von Worst- und Average-Case-Analysen hinsichtlich der von exakten Verfahren benötigten Rechenzeit und zur Beurteilung der Lösungsgüte heuristischer Verfahren wurde der parametergesteuerte Projekt- datengenerator ProGen entwickelt.

ProGen basiert auf einer parametrischen Charakterisierung von Probleminstanzen hinsichtlich "Basisdaten", "Netzwerk", "Ressourcennachfrage" und "Ressourcenangebot".¹⁷

Symbol	Definition
J^{\min} (J^{\max})	minimale (maximale) Anzahl Aktivitäten
d^{\min} (d^{\max})	minimale (maximale) Aktivitätsdauer

Tabelle 2: Eingabe Basisdaten

Als *Basisdaten* dienen die in *Tabelle 2* angegebenen Parameter. Die Minimal- und Maximalausprägungen werden als Argumente einer Funktion RAND genutzt. RAND selektiert die Anzahl der Vorgänge und ihre Dauern entsprechend einer ganzzahligen Gleichverteilung zufällig aus den definierten Intervallen:

$$J := \text{RAND} [J^{\min}, J^{\max}] + 2$$

$$d_j := \text{RAND} [d^{\min}, d^{\max}] \quad (1 < j < J; d_1 := d_j := 0)$$

Eine obere Schranke T für die Projektdauer ergibt sich anschließend wie folgt:

$$T := \sum_{j=2}^{J-1} d_j$$

¹³ In Drexl et al. (1995) werden für das RCPSP die Auswirkungen unterschiedlicher Repräsentationen von (Modell-) Wissen auf das Laufzeitverhalten einer Inferenzkomponente untersucht. Dabei zeigt sich, daß die Laufzeiten i.d.R. bereits bei sehr kleinen Datensätzen prohibitiv hoch werden.

¹⁴ Am leistungsfähigsten ist derzeit das adaptive Verfahren von Kolisch/Drexl (1995); siehe auch Kolisch (1995 a).

¹⁵ Siehe hierzu Abschnitt 6.

¹⁶ Siehe hierzu Abschnitt 7.

¹⁷ Die folgenden Ausführungen sind aus Platzgründen sehr knapp gehalten; eine detaillierte Darstellung hierzu findet man in Kolisch et al. (1995).

Da redundante Informationen nicht zur Klassifikation der Probleme beitragen, kann auf ihre Abbildung verzichtet werden. Für die Netzwerkkonstruktion bedeutet dies den Ausschluß sogenannter redundanter Reihenfolgebeziehungen. Zur Erläuterung diene das folgende einfache Beispiel: Gegeben sei ein Projekt mit $J = 3$ Aktivitäten und den durch $\mathcal{P}_1 = \emptyset$, $\mathcal{P}_2 = \{1\}$ und $\mathcal{P}_3 = \{2\}$ gegebenen Reihenfolgebeziehungen. In diesem Fall würde die Einführung eines Pfeiles von Aktivität 1 zu Aktivität 3, d.h. $\mathcal{P}_3 = \{1,2\}$, zu einer redundanten Reihenfolgebeziehung führen.

In einem zyklensfreien Netzwerk ist die minimale Anzahl an Reihenfolgebeziehungen $A^{\min} = J - 1$. Die maximale Anzahl an Reihenfolgebeziehungen A^{\max} ergibt sich für $J \geq 6$ aus:

$$\begin{aligned} A^{\max} &= J - 2 + \frac{1}{4} (J - 2)^2 && \text{für } n \text{ gerade und} \\ &= J - 2 + \frac{1}{4} (J - 1)(J - 3) && \text{sonst.} \end{aligned}$$

Die weiteren Daten zur Spezifikation des Netzwerks sind *Tabelle 3* zu entnehmen. Die Netzwerkkomplexität entspricht dabei der durchschnittlichen Anzahl nicht-redundanter Reihenfolgebeziehungen je Aktivität.

Symbol	Definition
s_1^{\min} (s_1^{\max})	minimale (maximale) Anzahl Startaktivitäten
p_J^{\min} (p_J^{\max})	minimale (maximale) Anzahl Endaktivitäten
p_j^{\min} (p_j^{\max})	minimale (maximale) Anzahl direkter Vorgänger
s_j^{\min} (s_j^{\max})	minimale (maximale) Anzahl direkter Nachfolger
NC	Netzwerkkomplexität

Tabelle 3: Eingabe Netzwerkdaten

Beginnend mit dem Graphen, der aus der Festlegung der Anzahl der Start- und Endvorgänge resultiert, wird durch sukzessive Aufnahme weiterer Reihenfolgebeziehungen ein Netzwerk erzeugt, das keine redundanten Reihenfolgebeziehungen enthält. Die Maximalanzahlen für Vorgänger von Nicht-Startvorgängen und für Nachfolger von Nicht-Endvorgängen werden dabei berücksichtigt. Die Komplexität wird bis auf eine gewisse vorgegebene Toleranz realisiert.

Die Eingabedaten für die Generierung der *Ressourcennachfrage* sind *Tabelle 4* zu entnehmen. Der Ressourcen-Faktor RF ist ein auf das Intervall $[0,1]$ normiertes Dichtemaß der Nachfragematrix (k_{ji}) . Er berechnet sich wie folgt:¹⁸

¹⁸ Für den Fall $RF = 0$ liegt damit ein reines Zeitplanungsproblem (mit unbeschränkt verfügbaren Kapazitäten) vor, während bei $RF = 1$ jede Aktivität alle Ressourcen benötigt.

$$RF := \frac{1}{(J-2)} \cdot \frac{1}{|\mathcal{R}|} \cdot \sum_{j=2}^{J-1} \sum_{r \in \mathcal{R}} \begin{cases} 1, & \text{falls } k_{jr} > 0 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Zunächst wird für jede Aktivität j , $1 < j < J$, bestimmt, welche Ressourcen r , $r \in \mathcal{R}$, benötigt werden, d.h. für die $k_{jr} > 0$ gilt. Die Anzahl der (zufällig ausgewählten) positiven Koeffizienten bestimmt den Ressourcenfaktor. Dieser wird entsprechend einer vorgegebenen Toleranz realisiert.

Symbol	Definition
$ \mathcal{R}^{\min} $ ($ \mathcal{R}^{\max} $)	minimale (maximale) Anzahl Ressourcen
Q^{\min} (Q^{\max})	minimale (maximale) Anzahl je Aktivität nachgefragte Ressourcen
U^{\min} (U^{\max})	minimale (maximale) Periodennachfrage je Aktivität

Tabelle 4: Eingabe Ressourcennachfrage

Für die Generierung des *Ressourcenangebotes* benötigen wir die folgenden aus der Erzeugung der Basisdaten, des Netzwerkes und der Nachfrage abgeleiteten Größen:

\mathcal{A}_t : Menge der in Periode t im MPM-Projektplan zu bearbeitenden Aktivitäten

$$K_r^{\max} := \max \left\{ \sum_{j \in \mathcal{A}_t} k_{jr} \mid 1 \leq t \leq T \right\} \quad (r \in \mathcal{R})$$

$$K_r^{\min} := \max \left\{ k_{jr} \mid j = 2, \dots, J-1 \right\} \quad (r \in \mathcal{R})$$

Unter Verwendung der vorgegebenen, dem Intervall $[0,1]$ entnommenen Ressourcenstärke RS ergibt sich, mit Hilfe der auf ganzzahlige Werte rundenden Funktion $ROUND$, das Ressourcenangebot:¹⁹

$$K_r := K_r^{\min} + ROUND [RS \cdot (K_r^{\max} - K_r^{\min})] \quad (r \in \mathcal{R})$$

Abbildung 3 verdeutlicht - unter Verwendung des in Abschnitt 3 eingeführten Beispiels - die Bestimmung von K_r^{\min} . Analog wird die Bestimmung von K_r^{\max} durch *Abbildung 4* veranschaulicht.

¹⁹ Während für den Fall $RS = 1$ ein reines Zeitplanungsproblem vorliegt, wird bei $RS = 0$ das jeweils niedrigste Kapazitätsangebot erzeugt, das die Bestimmung zulässiger Lösungen erlaubt.

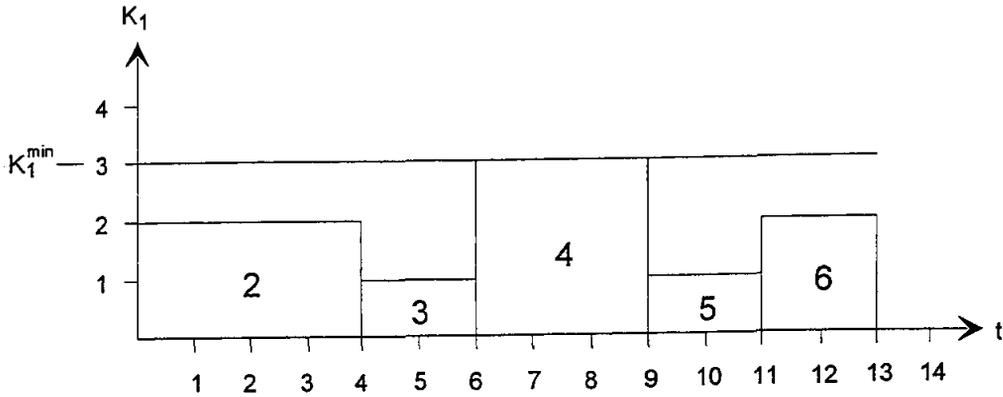


Abbildung 3: Ressourcen-Mindestangebot

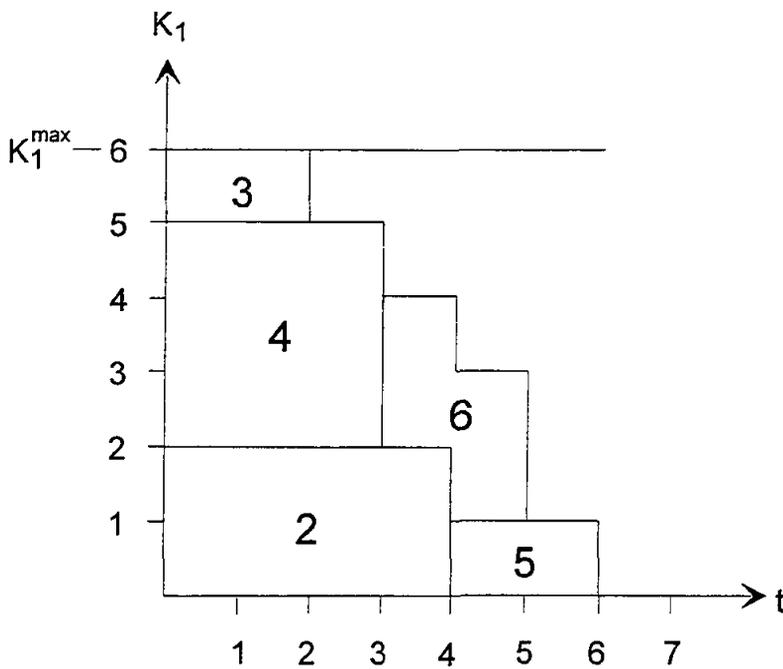


Abbildung 4: Ressourcen-Höchstangebot

Mit Hilfe des Generators ProGen wurden Testdatensätze erzeugt, die für das RCPSP repräsentativ²⁰ sind und inzwischen auch international als Grundlage experimenteller Untersuchungen dienen.²¹ Die Einstellung der konstanten Parameter ergibt sich aus *Tabelle 5*; die Einstellung der systematisch variierten Parameter ist: $NC \in \{1.5, 1.8, 2.1\}$, $RF \in \{0.25, 0.5, 0.75, 1\}$ und $RS \in \{0.2, 0.5, 0.7\}$

²⁰ Zu einer experimentellen Evaluation exakter Verfahren zur Lösung des RCPSP vgl. Kolisch et al. (1995).

²¹ Vgl. z.B. Mingozzi et al. (1995) sowie Demeulemeester/Herroelen (1995).

	J	d_j	$ Z $	U	Q	δ_1	δ_j	ρ_j	ρ_J
min	30	1	4	1	1	3	1	1	3
max	30	10	4	10	4	3	3	3	3

Tabelle 5: Einstellung der konstanten Parameter

Je Parameterkombination wurden 10 Datensätze erzeugt. Insgesamt ergaben sich damit $3 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 10 = 360$ Testprobleme. 308 dieser Instanzen konnten innerhalb einer Stunde CPU-Zeit²² exakt gelöst werden. Sie dienen im folgenden als Benchmarkprobleme.

5 Arten von Projektplänen

Im folgenden werden wir unterschiedliche Arten von Projektplänen charakterisieren. Soweit die erforderliche Präzision nicht darunter leidet, verwenden wir Graphiken statt formaler Definitionen.²³ Wir beziehen uns dabei jeweils auf das Beispiel von *Abbildung 5* mit einer Ressource.

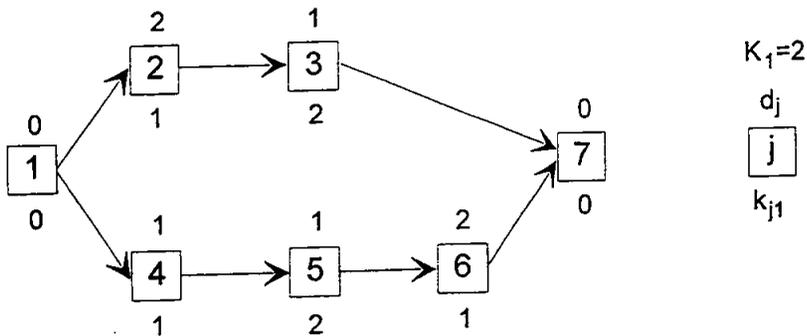


Abbildung 5: Ein Beispiel zur Veranschaulichung von Projektplänen

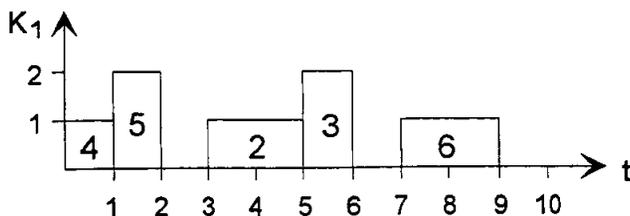


Abbildung 6: Zulässiger Projektplan

²² Mit dem Verfahren von Demeulemester/Herroelen (1992) auf einem PC (80386 SX, 15 MHz).

²³ Formal exakte Definitionen findet man in Sprecher et al. (1995).

Die Startzeiten der Vorgänge 2 und 3 können durch eine sogenannte lokale Linksverschiebung reduziert werden. Eine lokale Linksverschiebung einer Aktivität entsteht durch eine (mehrmalige) einperiodige Reduktion seiner Startzeit; die Startzeiten der übrigen Vorgänge dürfen dabei nicht verändert werden. Die jeweiligen durch einperiodige Reduktion der Startzeit entstehenden Projektpläne sind hierbei zulässig. Werden die Vorgänge 2 bzw. 3 um eine bzw. zwei Perioden lokal nach links verschoben, so entsteht der zulässige Projektplan der *Abbildung 7*. Da in ihm keine weiteren lokalen Linksverschiebungen vorgenommen werden können, wird er als semi-aktiver Projektplan bezeichnet.

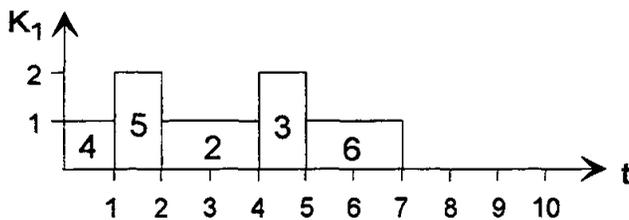


Abbildung 7: Semi-Aktiver Projektplan

Durch eine sogenannte globale Linksverschiebung, kann die Startzeit von Aktivität 6 um drei Perioden reduziert werden. Der entstehende Projektplan von *Abbildung 8* ist wiederum zulässig. Im Gegensatz zur lokalen Linksverschiebung sind die durch einperiodige Linksverschiebungen gewonnenen zwischenzeitlichen Projektpläne hier nicht zulässig. Der Projektplan wird aktiv genannt, da weder eine weitere lokale noch eine globale Linksverschiebung möglich ist.

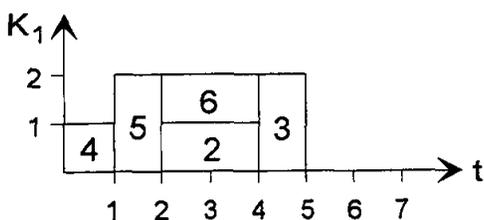


Abbildung 8: Aktiver (und optimaler) Projektplan

Es ist unmittelbar nachzuvollziehen, daß der Projektplan der *Abbildung 8* optimal ist. Wir zerlegen nun jede Aktivität j in d_j Vorgänge der Bearbeitungsdauer '1'. Es entsteht so das in *Abbildung 9* wiedergegebene Netzwerk. *Abbildung 10* zeigt den Projektplan, der durch die Zerlegung in Einheitsdauern aus der Optimallösung abgeleitet wird. Der Projektplan ist nicht verzögerungsfrei, da die Aktivität 21 global nach links verschoben werden kann. Ein Projektplan ist also verzögerungsfrei, wenn der aus der Zerlegung in Einheitsdauern resultierende Projektplan aktiv ist.

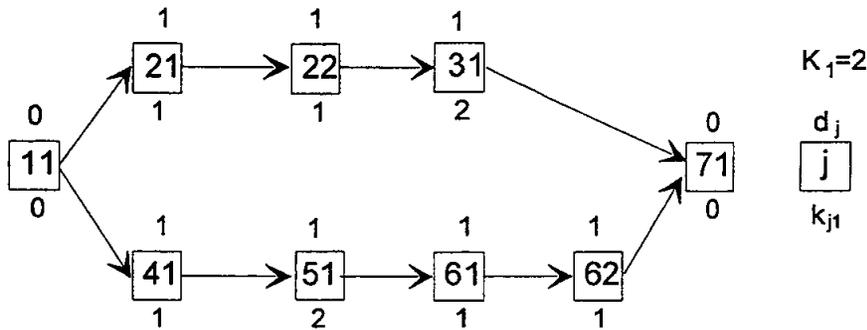


Abbildung 9: Projektnetzwerk mit Einheits-Bearbeitungsdauern

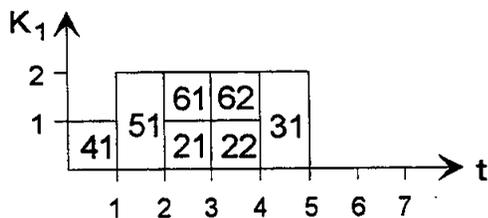


Abbildung 10: Projektplan zu Abbildung 9

Im Projektplan von *Abbildung 10* kann die Aktivität 21 global nach links verschoben werden, wodurch man den verzögerungsfreien Projektplan in *Abbildung 11* erhält. Das Beispiel zeigt, daß ein optimaler Projektplan nicht verzögerungsfrei sein muß. Folglich enthält die Menge der verzögerungsfreien Projektpläne u.U. nicht die Optimallösung.

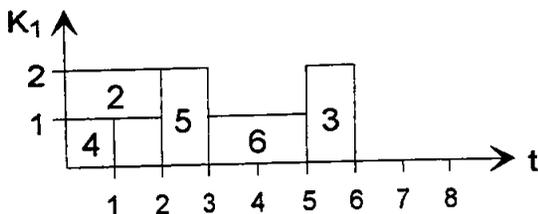


Abbildung 11: Unverzögerter Projektplan

Zusammenfassend lassen sich die Beziehungen zwischen den verschiedenen Arten von Projektplänen unter Verwendung der Notation

- P : Menge aller Projektpläne
- ZP : Menge aller zulässigen Projektpläne
- SAP : Menge aller semi-aktiven Projektpläne
- AP : Menge aller aktiven Projektpläne
- UZP : Menge aller unverzögerten Projektpläne

wie folgt wiedergeben:

$$\text{UZP} \subseteq \text{AP} \subseteq \text{SAP} \subseteq \text{ZP} \subseteq \text{P}$$

In der Menge der semi-aktiven und in der Menge der aktiven Projektpläne sind optimale Projektpläne enthalten. Für verzögerungsfreie Projektkpläne gilt dies jedoch nicht. Es stellt sich damit die Frage, wie sich die verschiedenen Arten von Projektplänen erzeugen lassen und welche Konsequenzen das für die Güte erzielbarer Lösungen hat. Der Beantwortung dieser Fragen wenden wir uns in den folgenden Abschnitten zu.

6 Generierung von Projektplänen

Grundsätzlich lassen sich zwei Verfahrensschemata zur heuristischen Konstruktion von Projektplänen unterscheiden: Serielle und parallele Prioritätsregelverfahren. Beide Verfahrensschemata konstruieren einen zulässigen Projektplan, indem sukzessive (in Stufe n) Aktivitäten, deren Vorgänger bereits alle eingeplant sind, ausgewählt und eingeplant werden. Bei seriellen Verfahren wird zuerst eine Aktivität zur Einplanung ausgewählt und dann (unter Beachtung der Reihenfolgebeziehungen und der verfügbaren Restkapazitäten) zum frühesten Startzeitzeitpunkt eingeplant. Bei parallelen Verfahren hingegen wird zuerst ein Einplanungszeitpunkt festgelegt und dann eine (unter Beachtung der Reihenfolgebeziehungen und der verfügbaren Restkapazitäten) zu diesem Zeitpunkt einplanbare Aktivität gewählt und gestartet. Da beide Verfahrensprinzipien sehr einfach sind, können wir unmittelbar eine algorithmische Beschreibung wiedergeben. Für das serielle Verfahren verwenden wir folgende Notation:

n : Stufe des Verfahrens

C_n : Menge der in Stufe n bereits eingeplanten Aktivitäten (Complete Set)

D_n : Menge der in Stufe n reihenfolgezulässigen Aktivitäten (Decision Set)

$$D_n := \{j \mid j \notin C_n, \mathcal{P}_j \subseteq C_n\}$$

FZ_j : frühester reihenfolgezulässiger Endzeitpunkt der Aktivität j im aktuellen Projektplan

EZ_j : tatsächlicher Endzeitpunkt der Aktivität j im aktuellen Projektplan

$$RK_{rt} := K_r - \sum_{\{j \in C_n \mid EZ_j - d_j < t \leq EZ_j\}} k_{jr} \quad (\text{Restkapazität von Ressource } r \text{ in Periode } t)$$

$v(j)$: Prioritätswert von Aktivität j

Serielles Prioritätsregelverfahren

Initialisierung: $n := 1; C_n := \phi;$

while $|C_n| < J$ **do** (Stufe n)

begin

berechne D_n sowie RK_{rt} für alle $r \in \mathcal{R}$ und $t = 1, \dots, T;$

$j^* := \min_{j \in D_n} \{j \mid v(j) = \min_{i \in D_n} v(i)\};$

$FZ_{j^*} := \max \{EZ_i \mid i \in \mathcal{P}_{j^*}\} + d_{j^*};$

$EZ_{j^*} := \min \{t \mid FZ_{j^*} \leq t \leq SE_{j^*} \wedge k_{j^*r} \leq RK_{rt} \text{ für alle } r \text{ und } \tau = t - d_{j^*} + 1, \dots, t\};$

$C_{n+1} := C_n \cup \{j^*\};$

$n := n + 1;$

end

* * * * *

Für das parallele Prioritätsregelverfahren verwenden wir die folgende zusätzliche bzw. modifizierte Notation:

t_n : (Planungs-) Zeit in Stufe n (time)

A_n : Menge der im Zeitpunkt t_n in Bearbeitung befindlichen Aktivitäten (Active Set)

$RK_r := K_r - \sum_{j \in A_n} k_{jr}$ (Restkapazität von Ressource r im Zeitpunkt t_n)

D_n : Menge der im Zeitpunkt t_n reihenfolge- und ressourcenzulässigen Aktivitäten
 $D_n := \{j \mid j \notin \{A_n \cup C_n\}, \mathcal{P}_j \subseteq C_n, k_{jr} \leq RK_r \text{ für alle } r\}$

Paralleles Prioritätsregelverfahren

Initialisierung: $n := 1; t_n := 0; D_n := \{1\}; A_0 := A_n := C_0 := C_n := \phi; RK_r := K_r$ für alle r;
goto Step (2);

while $|A_{n-1} \cup C_{n-1}| < J$ **do** (Stufe n)

begin

(1) $t_n := \min \{EZ_j \mid j \in A_{n-1}\};$

$A_n := A_{n-1} \setminus \{j \mid j \in A_{n-1}, EZ_j = t_n\};$

$C_n := C_{n-1} \cup \{j \mid j \in A_{n-1}, EZ_j = t_n\};$

berechne D_n sowie RK_r für alle r;

```

(2)  $j^* := \min_{j \in D_n} \{j \mid v(j) = \min_{i \in D_n} v(i)\};$ 
     $EZ_{j^*} := t_n + d_{j^*};$ 
     $A_n := A_n \cup \{j^*\};$ 
    berechne  $D_n$  sowie  $RK_r$  für alle  $r$ ;
    if  $D_n \neq \emptyset$  then goto Step (2) else  $n := n + 1$ ;
end

```

* * * * *

Die Darstellung der Verfahren unter ausschließlicher Verwendung deterministischer Minimierungsregeln bedeutet keine Einschränkung: Maximierungsregeln können ebenso genutzt werden wie randomisierte Regeln. Eine genauere Analyse der durch die Verfahren generierten Projektpläne zeigt, daß - unabhängig von der Wahl der Prioritätsregel - serielle Verfahren aktive und parallele Verfahren verzögerungsfreie Projektpläne erzeugen.²⁴ Jenseits der Typisierung der erzeugten Projektpläne wirkt die Wahl geeigneter Prioritätsregeln entscheidend auf die Güte der Verfahren ein. Während die Latest Finish Time-Regel (LFT-Regel) für das serielle Verfahren am besten geeignet ist, erweist sich die Worst Case Slack-Regel (WCS-Regel) für das parallele Verfahren als die beste. Beide Regeln werden nun beschrieben.

7 Klassische und neuere Prioritätsregeln

Exakte Verfahren sind zur Lösung von Problemen praxisrelevanter Größenordnung nur von beschränktem Nutzen; daher werden derzeit heuristische Verfahren eingesetzt. Gute Lösungen werden hierbei durch Varianten der in Abschnitt 6 dargestellten Basisverfahren erzielt. Im wesentlichen sind Single- und Multi-Pass-Verfahren zu unterscheiden:

- Single-Pass-Verfahren erzeugen deterministisch einen Projektplan. Dieser entsteht durch die einmalige Anwendung einer Kombination eines der obigen Basisverfahren mit einer Prioritätsregel.
- Multi-Pass-Verfahren erzeugen mehrere Projektpläne.²⁵ Die Projektpläne entstehen deterministisch aus der Kombination der Basisverfahren mit verschiedenen Prioritätsregeln oder stochastisch aus der Kombination mit einer randomisierten Prioritätsregel.

²⁴ Vgl. Kolisch (1996).

²⁵ Von denen dann der beste ausgewählt wird.

Im folgenden werden zunächst Single-Pass-Verfahren dargestellt. Anschließend, in Abschnitt 8, wird das derzeit leistungsfähigste Multi-Pass-Verfahren skizziert.

Effiziente Single-Pass-Verfahren nutzen das parallele Basisverfahren in Kombination mit einer der klassischen Prioritätsregeln der *Tabelle 6*.²⁶ Die Menge $\bar{\mathcal{S}}_j$ besteht hierbei aus den unmittelbaren und mittelbaren Nachfolgern einer Aktivität j . Die Rangfolge ergibt sich aus der Sortierung der Aktivitäten entsprechend der Ausprägung ('extr').

Regel	Kürzel	extr	v(j)
<u>M</u> ost <u>T</u> otal <u>S</u> uccessors	MTS	max	$ \bar{\mathcal{S}}_j $
<u>G</u> reatest <u>R</u> ank <u>P</u> ositional <u>W</u> eight	GRPW	max	$d_j + \sum \{d_i \mid i \in \mathcal{S}_j\}$
<u>L</u> atest <u>F</u> inish <u>T</u> ime	LFT	min	LF_j
<u>M</u> inimum <u>S</u> lack	MSLK	min	$LS_j - t_n$

Tabelle 6: Klassische Prioritätsregeln

Der *Tabelle 7* sind verschiedene - in der Literatur dokumentierte - Rankings von Prioritätsregeln zu entnehmen. "a > b" bedeutet dabei, daß mit Regel a (im Durchschnitt) eine höhere Lösungsgüte erzielt wird als mit Regel b.

Die Prioritätsregel RSM (Resource Scheduling Method) wurde in *Tabelle 7* nicht erläutert, weil sie im folgenden einer näheren Analyse unterzogen wird.

Quelle	Ranking
Davis/Patterson (1975)	MSLK > LFT > RSM
Boctor (1990)	MSLK > LFT > RSM
Alvarez-Valdes/Tamarit (1989)	GRPW > LFT > MTS
Valls et al. (1992)	MSLK > GRPW > MTS

Tabelle 7: Rankings von Prioritätsregeln

Die Interpretation der Prioritätsregeln der *Tabelle 6* ist recht anschaulich und die Berechnung der Prioritätswerte einfach. Ebenso anschaulich, wenn auch etwas aufwendiger in der formalen Beschreibung und in der Berechnung der Prioritätswerte ist die (RSM). Die RSM unterstellt, daß kein Paar der zum Zeitpunkt t_n reihenfolge- und ressourcenzulässigen Aktivitäten zum Zeitpunkt t_n gemeinsam gestartet werden kann.

²⁶ Vgl. Kolisch (1995 b).

Für die Einplanung jeder reihenfolge- und ressourcenzulässigen Aktivität ergibt sich hieraus (möglicherweise) eine Verlängerung des kritischen Pfades. Die höchste Priorität erhält diejenige Aktivität, deren zugehörige Verlängerung des kritischen Pfades minimal ist ('extr' = 'min'). Formal läßt sich die RSM-Regel wie folgt darstellen, wobei sich die Werte LS_i nun nicht auf eine obere Schranke für die Projektdauer, sondern auf die Länge des kritischen Pfades (aus der Zeitplanung) beziehen:²⁷

$$v(j) := \max \{ 0, t_n + d_j - LS_i \mid (i,j) \in AP_n \} \text{ mit}$$

AP_n : Menge von Aktivitäts-Paaren in D_n

$$AP_n := \{ (i,j) \in D_n \wedge i \neq j \}$$

Die Implikation der Annahme der RSM-Regel wird verdeutlicht am Beispiel aus *Abbildung 12* mit 6 Aktivitäten, $|R| = 1$ Ressource und $K_1 = 4$.

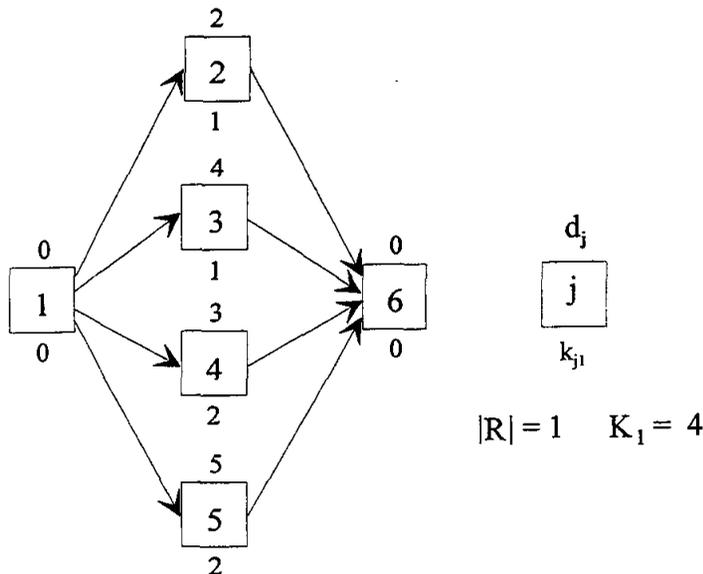


Abbildung 12: Beispiel zur RSM-Regel

j	1	2	3	4	5	6
LS_j	0	3	1	2	0	5

Tabelle 8: Späteste Startzeitpunkte für das Beispiel

Der *Tabelle 8* sind für das Beispiel, unter der Annahme $LF_6 = EF_6 = 5$, die spätesten Startzeitpunkte LS_j zu entnehmen. Es sollen nun die folgenden beiden Situationen (i) und (ii) näher betrachtet werden:

²⁷ Die fundamentale Idee dieser klassischen Prioritätsregel stammt von der auf dem disjunktiven Graphenkonzept basierenden Prioritätsregel von Shaffer et al. (1965). Die RSM-Regel wurde u.a. in Untersuchungen von Davis/Patterson (1975), Alvarez-Valdes/Tamarit (1989), Boctor (1990), Valls et al. (1992) sowie Ulusoy/Özdamar (1989) verwendet.

- (i) In Stufe $n = 2$ des parallelen Verfahrens gilt mit $t_n = 0$, $RK_1 = 4$, $C_n = \{1\}$, $A_n = \emptyset$, $D_n = \{2,3,4,5\}$ und damit $AP_n = \{(2,3), (2,4), (2,5), (3,4), (3,5), (4,5)\}$. Wir erhalten $v(2) = \max \{0, t_2 + d_2 - LS_3, t_2 + d_2 - LS_4, t_2 + d_2 - LS_5\} = \max \{0, 0 + 2 - 1, 0 + 2 - 2, 0 + 2 - 0\} = 2$. Die Aktivitätspaare (2,3), (2,4) oder (2,5) sind aber gleichzeitig einplanbar. Das bedeutet, eine Einplanung der Aktivität 2 impliziert keine Verlängerung der Projektdauer um 2 ZE.

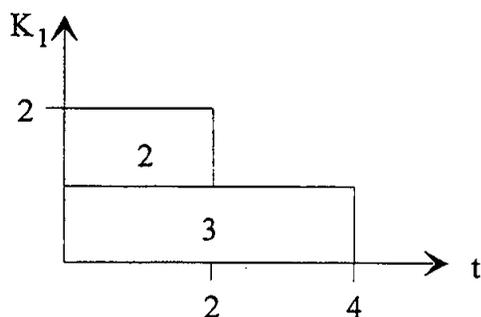


Abbildung 13: (Teil-)Projektplan für das Beispiel

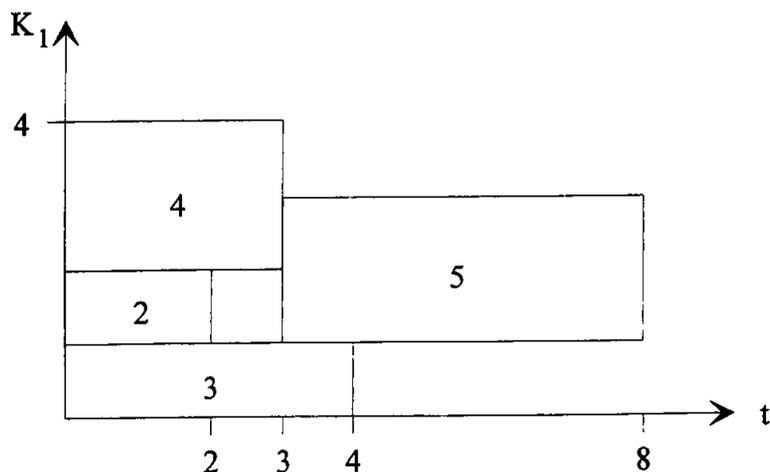


Abbildung 14: Zulässige Lösung des Beispiels

- (ii) Erneut werde Stufe $n = 2$ des parallelen Verfahrens betrachtet, wobei die Aktivitäten 2 und 3 bereits eingeplant seien, d.h. $t_n = 0$, $RK_1 = 2$, $C_n = \{1\}$, $A_n = \{2,3\}$, $D_n = \{4,5\}$ und $AP_n = \{(4,5)\}$ gilt (vgl. *Abbildung 13*). Wir erhalten $v(4) = \max \{0, t_2 + d_4 - LS_5\} = \max \{0, 0 + 3 - 0\} = 3$ und $v(5) = \max \{0, t_2 + d_5 - LS_4\} = \max \{0, 0 + 5 - 2\} = 3$. Während die Einplanung der Aktivität 4 eine dem Prioritätswert $v(4) = 3$ entsprechende Verlängerung des kritischen Pfades bewirkt, verursacht die Einplanung der Aktivität 5 lediglich eine unter dem Prioritätswert $v(5) = 3$ liegende Verlängerung um 2 ZE (vgl. *Abbildung 14* und *Abbildung 15*).

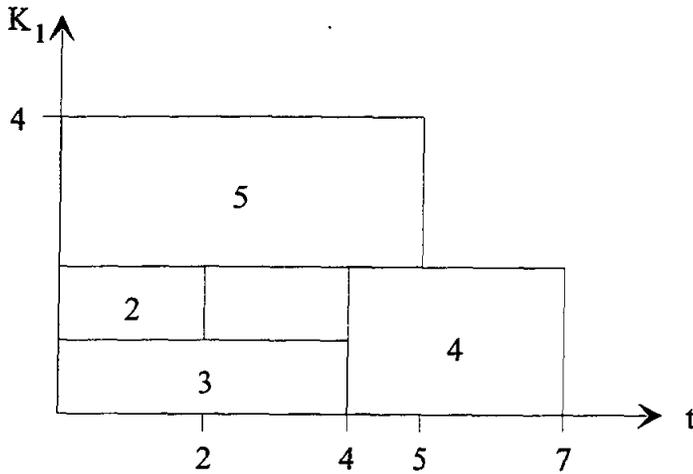


Abbildung 15: Optimale Lösung des Beispiels

Die Defizite der RSM-Regel sind Ausgangspunkt für die Entwicklung neuer, besserer Prioritätsregeln. Dabei wird wie folgt vorgegangen: Wir zerlegen die Menge AP_n in disjunkte Teilmengen GFP_n , TFP_n und CSP_n .

GFP_n : Menge der generell verbotenen Paare von Aktivitäten (Generally Forbidden Pairs)

$$GFP_n := \{ (i,j) \mid (i,j) \in AP_n \wedge \exists r \in R: k_{ir} + k_{jr} > K_r \}$$

TFP_n : Menge der temporär verbotenen Paare von Aktivitäten (Temporarily Forbidden Pairs)

$$TFP_n := \{ (i,j) \mid (i,j) \in AP_n \wedge (i,j) \notin GFP_n \wedge \exists r \in R: k_{ir} + k_{jr} > RK_r \}$$

CSP_n : Menge der aktuell einplanbaren Paare von Aktivitäten (Currently Schedulable Pairs)

$$CSP_n := \{ (i,j) \mid (i,j) \in AP_n \wedge k_{ir} + k_{jr} \leq RK_r \text{ für alle } r \}$$

In der Situation (i) des Beispiels gilt dann $GFP_n = TFP_n = \emptyset$ und $CSP_n = AP_n = \{(2,3), (2,4), (2,5), (3,4), (3,5), (4,5)\}$. Nach der Einplanung der Aktivitäten 2 und 3 gilt in der Situation (ii) $GFP_n = \emptyset$, $TFP_n = AP_n = \{(4,5)\}$ und $CSP_n = \emptyset$.

Es stellt sich nun die Frage, wann die Aktivitäten eines Paares gleichzeitig gestartet werden können, wenn sie zu TFP_n gehören. Die folgenden Überlegungen helfen weiter. Sei

$\Pi_{(i,j)}^r$: Frühester Zeitpunkt für die Einplanung eines nur bzgl. Ressource $r \in R$ temporär verbotenen Paares von Aktivitäten $(i,j) \in TFP_n$

$$\Pi_{(i,j)}^r := \min \{ \tau \mid \sum_{h \in A_n \mid EZ_h \leq \tau} k_{hr} + RK_r \geq k_{ir} + k_{jr}, \tau = t_n, \dots, T \} \quad (i,j) \in TFP_n$$

$\Pi_{(i,j)}$: Frühester Zeitpunkt für die Einplanung eines bzgl. aller Ressourcen $r \in R$ temporär verbotenen Paares von Aktivitäten $(i,j) \in TFP_n$

$$\Pi_{(i,j)} := \max \{ \Pi_{(i,j)}^r \mid r \in R \} \quad (i,j) \in \text{TFP}_n$$

$\bar{\Pi}_{(i,j)}$: Frühester Zeitpunkt für die Einplanung eines Paares von Aktivitäten (i,j)

$$\bar{\Pi}_{(i,j)} := \begin{cases} \infty, & \text{falls } (i,j) \in \text{GFP}_n \\ \Pi_{(i,j)}, & \text{falls } (i,j) \in \text{TFP}_n \\ t_n, & \text{falls } (i,j) \in \text{CSP}_n \end{cases}$$

Für jedes Paar von Aktivitäten $(i,j) \in \text{AP}_n$ gilt damit:

$E_{(i,j)}$: Frühester Zeitpunkt, zu dem Aktivität j gestartet werden kann, wenn Aktivität i in t_n gestartet wird

$$E_{(i,j)} := \min \{ t_n + d_i, \bar{\Pi}_{(i,j)} \mid (i,j) \in \text{AP}_n \}$$

$E_{(j,i)}$: Frühester Zeitpunkt, zu dem Aktivität i gestartet werden kann, wenn Aktivität j in t_n gestartet wird

$$E_{(j,i)} := \min \{ t_n + d_j, \bar{\Pi}_{(i,j)} \mid (i,j) \in \text{AP}_n \}$$

Regel	extr.	$v(j)$
RSM	min	$\max \{ 0, t_n + d_j - LS_i \mid (i,j) \in \text{AP}_n \}$
IRSM	min	$\max \{ 0, E_{(j,i)} - LS_i \mid (i,j) \in \text{AP}_n \}$
WCS	min	$LS_j - \max \{ E_{(i,j)} \mid (i,j) \in \text{AP}_n \}$
ACS	min	$LS_j - 1/(D_n - 1) \sum \{ E_{(i,j)} \mid (i,j) \in \text{AP}_n \}$

Tabelle 9: Neuere Prioritätsregeln im Überblick

Damit erhalten wir die folgenden neuen Prioritätsregeln (vgl. auch Tabelle 9):

IRSM : verbesserte (Improved) RSM-Regel; plane diejenige Aktivität ein, deren Einplanung zur geringsten Gesamterhöhung der durch den kritischen Pfad gegebenen Zeitschranken führt.

WCS : Worst Case Slack; plane diejenige Aktivität ein, welche im Fall der Nichteinplanung die kleinste (nicht notwendig postive) Pufferzeit hat.

ACS : Average Case Slack; plane diejenige Aktivität ein, welche im Fall der Nichteinplanung die kleinste durchschnittliche Pufferzeit hat.

	ABW	STD	MAX	% OPT
WCS	4.27	4.60	26.39	31,16
ACS	4.57	4.94	32.81	30,51
IRSM	4.66	4.83	27.03	30,84
LFT	4.83	4.77	22.37	27,59
MSLK	4.92	5.25	32.91	29,87
RSM	5.67	5.05	22.22	23,37
MTS	5.92	5.25	32.81	22,40
GRPW	9.22	8.17	41.86	18,83

Tabelle 10: Vergleich der Prioritätsregeln

Tabelle 10 enthält die Ergebnisse eines experimentellen Vergleichs der neuen mit den klassischen Prioritätsregeln auf der Basis von 308 ProGen-Testdatensätzen.²⁸ ABW steht dabei für die durchschnittliche Abweichung vom Optimum, STD für die Standardabweichung, MAX für die maximale prozentuale Abweichung und #OPT für die Anzahl gefundener Optimallösungen. Offensichtlich sind die neuen den alten Regeln deutlich überlegen. Dies gilt im übrigen auch, wenn man die Regeln hinsichtlich der Problemparameter NC, RF und RS untersucht.²⁹

8 Stichprobenverfahren

Im folgenden werden wir zeigen, daß und wie sich die in Tabelle 10 dargestellten Ergebnisse wesentlich verbessern lassen, und zwar mit Hilfe adaptiver Stichprobenverfahren.³⁰ Sie wählen je nach Ausprägung des Ressourcenfaktors RF ein Verfahrensschema aus. Ferner wird ein Kontrollparameter, der die Randomisierung der Prioritätswerte steuert, als Funktion des Stichprobenumfangs angepaßt.

Grundsätzlich entspricht das sogenannte "Sampling" einer Abbildung $\psi: j \in D_n \rightarrow [0,1]$, die Auswahlwahrscheinlichkeiten $\psi(j) \geq 0$ für all $j \in D_n$ mit $\sum_{j \in D_n} \psi(j) = 1$ erzeugt. Wir diskutieren drei Möglichkeiten zur Bestimmung von $\psi(j)$.

²⁸ Es werden nur diejenigen ProGen-Datensätze betrachtet, für die die Optimallösung bekannt ist. Ferner kommen nur solche (nicht-trivialen) in Frage, für die die Optimallösung mit dem MPM-Netzplan nicht übereinstimmt.

²⁹ Details hierzu findet man in Kolisch (1995 b).

³⁰ Vgl. Kolisch/Drexel (1995); siehe auch Kolisch (1995 a).

(i) Random Sampling (RAS). Alle Aktivitäten erhalten dieselbe Wahrscheinlichkeit:

$$\psi(j) := 1 / |D_n| \quad (j \in D_n)$$

(ii) Biased Random Sampling (BRS). Die Auswahlwahrscheinlichkeiten werden auf der Basis von deterministischen Prioritätswerten mit $\text{extr} = \text{min}$ wie folgt "verzerrt":³¹

$$\psi(j) := \frac{1}{v(j)} / \sum_{i \in D_n} \frac{1}{v(i)} \quad (j \in D_n \text{ mit } v(j) \neq 0)$$

Als Nachteile sind hier zu verzeichnen, daß BRS nur für Prioritätsregeln mit positiven Prioritätswerten anwendbar ist, d.h. $v(j) > 0$ für alle $j \in D_n$. Ferner entspricht BRS dem RAS, wenn die Prioritätswerte große Zahlen sind.

(iii) Regret-Based Biased Random Sampling (RBRS).³² Bei Präferenz niedriger Prioritätswerte lautet das Regretmaß

$$\rho_j := \max \{v(i) \mid i \in D_n\} - v(j) \quad (j \in D_n)$$

und man erhält die Auswahlwahrscheinlichkeiten:

$$\psi(j) := (\rho_j + 1)^\alpha / \sum_{i \in D_n} (\rho_i + 1)^\alpha \quad (j \in D_n)$$

Die Konstante "1" sorgt dafür, daß alle einplanbaren Aktivitäten eine Auswahlwahrscheinlichkeit > 0 besitzen, d.h. daß $\psi(j) > 0$ für alle $j \in D_n$ gilt. Der Parameter α kontrolliert den Bias so, daß für $\alpha \rightarrow \infty$ deterministische Auswahl und für $\alpha \rightarrow 0$ RAS als Spezialfälle vorliegen.

Tabelle 11 enthält die Ergebnisse eines experimentellen Vergleichs von RAS, BRS sowie RBRS bei einem Stichprobenumfang von $Z = 100$ und einer Parametereinstellung von $\alpha = 1$ auf der Basis der ProGen-Datensätze. Es ist offensichtlich, daß RBRS deutlich überlegen ist.

	ABW	STD	MAX	%OPT
RAS	2.66	3.28	16.30	45.12
BRS	2.50	3.08	13.64	47.40
RBRS	1.58	2.36	13.64	57.95

Tabelle 11: Experimenteller Vergleich der Sampling-Methoden

³¹ Vgl. Cooper (1976).

³² Vgl. Drexel (1991).

Tabelle 12 zeigt die mittleren Abweichungen ABW unterschiedlicher Kombinationen von α und Z für RBRS auf der Basis des seriellen (SV) und des parallelen Prioritätsregel-Verfahrens (PV). Für jedes Verfahren wird dabei die jeweils am besten geeignete Prioritätsregel verwendet, d.h. SV wird in Kombination mit der LFT-Regel und PV in Kombination mit der WCS-Regel verwendet. Unterstrichen sind jeweils die besten Kombinationen von α und Z.

Z	1	5	10	50	100
$\alpha = \infty$	<u>5.04</u>	5.04	5.04	5.04	5.04
3	6.28	<u>3.65</u>	2.99	2.12	1.89
2	6.67	3.75	<u>2.83</u>	1.98	1.70
1	8.03	3.85	3.10	<u>1.88</u>	<u>1.58</u>
0	13.29	6.73	5.30	3.29	2.66

Tabelle 12: Vergleich für unterschiedliche Kombinationen von α und Z

Z	1	5	10	50	100
SV	8.99	4.10	3.11	<u>1.56</u>	<u>1.18</u>
PV	<u>7.07</u>	<u>3.60</u>	<u>3.10</u>	2.20	1.99

Tabelle 13: Vergleich von SV und PV

Tabelle 13 zeigt die mittleren Abweichungen eines experimentellen Vergleichs von SV und PV. Offensichtlich ist die Güte beider Verfahren als Funktion des Stichprobenumfangs einander gegenläufig.

Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse eines experimentellen Vergleichs von SV und PV in Verbindung mit der angegebenen Prioritätsregel für die 63 ProGen-Testdatensätze mit einem "hohen" Ressourcen-Faktor von $RF > 0.75$. Für diese Klasse von Instanzen ist PV konsistent besser als SV.

Z	1	5	10	50	100
SV	9.44	5.54	4.30	2.53	1.96
PV	<u>7.96</u>	<u>4.14</u>	<u>3.50</u>	<u>2.19</u>	<u>1.86</u>

Tabelle 14: Vergleich von SV und PV für $RF > 0.75$

Aus den Tabellen 12 bis 14 kann eine Anpassung des Kontrollparameters α als Funktion $\varphi(z)$ des Stichprobenumfangs $z \in Z = (\underline{Z}, \bar{Z}]$, wie in Tabelle 15 dargestellt, abgeleitet werden.

Z	1	(1,5]	(5,10]	>10
$\alpha = \varphi(z)$	∞	3	2	1

Tabelle 15: Kontrollparameter α als Funktion des Stichprobenumfangs

Zusammenfassend können wir nun ein adaptives Stichprobenverfahren, bei dem sowohl SV als auch PV sowie α als Funktion des Stichprobenumfangs ausgewählt bzw. angepaßt werden, angeben. SV/α bzw. PV/α bedeuten dabei, daß das Prioritätsregelverfahren SV bzw. PV unter Verwendung der Prioritätsregel LFT bzw. WCS mit dem Kontrollparameter α durchzuführen ist.

Adaptives Stichprobenverfahren

```

for z = 1 to Z do Pass z
begin
   $\alpha := \varphi(z)$ 
  if (Z > 10 und RF  $\leq$  0.75) then
    führe SV/ $\alpha$  aus
  else
    führe PV/ $\alpha$  aus
end
  
```

* * * * *

Mit Hilfe des adaptiven Verfahrens sind für die ProGen-Testdatensätze die experimentellen Ergebnisse von Tabelle 16 erzielt worden. CPU steht dabei für die erforderliche Rechenzeit in sec.³³ Insgesamt wird deutlich, daß mit dem adaptiven Verfahren in vernachlässigbar geringer Rechenzeit sehr gute Projektpläne zu ermitteln sind.

³³ Mit einer Implementierung in Pascal auf einem PC (80486 dx, 66 MHz). Zur Beschleunigung des Verfahrens werden dabei (hier nicht weiter dargestellte, reihenfolge- und ressourcenbezogene) untere Schranken zur frühzeitigen Identifikation nicht erfolgversprechender Projektpläne eingesetzt; vgl. hierzu Kolisch/Drexler (1995).

Z	1	10	100	500
ABW	4.27	2.53	1.22	0.71
STD	4.60	3.58	2.11	1.47
MAX	26.39	18.46	11.84	6.9
%OPT	31.16	50.32	66.23	76.62
CPU	0.01	0.11	0.69	3.09

Tabelle 16: Performance des adaptiven Verfahrens

Ein weiterer - hier nicht näher dokumentierter - Vergleich mit den Methoden von Alvarez-Valdes/Tamarit (1989), Bell/Han (1991), Leon/Balakrishnan (1995) sowie Sampson/Weiss (1993) unterstreicht die deutliche Überlegenheit des adaptiven Verfahrens.³⁴

9 Anwendungsmöglichkeiten

Einige der "klassischen" Anwendungsmöglichkeiten der Projektplanung wurden bereits in Abschnitt 1 kurz erwähnt. Darüber hinaus liegen Modelle und Methoden zur Projektplanung bei beschränkt verfügbaren Ressourcen implizit oder explizit Projektmanagement-Systemen,³⁵ Montageleitständen³⁶ oder auch Systemen zur Unterstützung des Management von F&E-Projekten³⁷ zugrunde.³⁸ Entsprechende Methoden werden prinzipiell auch in konventionellen, erzeugnisorientierten PPS-Systemen in der Phase der "kapazitätstreuen Terminierung" eingesetzt und für die Entwicklung segmentspezifischer, kapazitätsorientierter PPS-Systeme sind sie vor allem im Produktionssegment Einzelfertigung von fundamentaler Bedeutung.³⁹ Aus methodischer Sicht sind an die genannten Systeme prinzipiell ähnliche Anforderungen zu stellen.⁴⁰ Einem modell- und methodengestützten Ressourcenmanagement kommt damit ein hoher Stellenwert zu.

³⁴ Details hierzu sind in Kolisch/Drexel (1995) zu finden.

³⁵ Wie z.B. Artemis Schedule Publisher, CA-Super Project, Microsoft Project, Primavera Project Planner, Project Manager Workbench, Project Scheduler 6 oder Time Line; vgl. hierzu auch den Marktspiegel in Dworatschek/Hayek (1992).

³⁶ Wie z.B. Jobplan oder PRISMA; vgl. hierzu z.B. Drexel et al. (1994 a).

³⁷ Zur Planung und Kontrolle von F&E-Projekten vgl. v.a. Brockhoff (1992). Zum Innovationsmanagement, bei dem das Projektmanagement ebenfalls von zentraler Bedeutung ist, vgl. etwa Hauschildt (1993).

³⁸ Zur Analyse der Charakteristika von Projekten in verschiedenen betrieblichen Bereichen vgl. Icmeli (1995).

³⁹ Siehe hierzu erneut Drexel et al. (1994 b).

⁴⁰ Weitere interessante Anwendungen im Bereich des "Business Process Redesign" findet man in Tobias (1991).

In jüngster Zeit hat das "Projektmanagement im Produktionsmanagement" ⁴¹ aus folgenden Gründen verstärktes Interesse gefunden: Angesichts der zunehmenden Differenzierung der Kundenwünsche hat das Gewicht der auftragsorientierten Produktion im Vergleich zur lagerorientierten Produktion stark zugenommen. Die "Kundenauftragsfertigung" kennzeichnet dabei als Oberbegriff ein breites Spektrum spezifischer Anwendungen im industriellen Bereich und im Dienstleistungssektor. Charakteristische Eigenschaften der Kundenauftragsfertigung sind die Individualität der Aufträge und die Vorgabe von Lieferterminen. Ein breites Anwendungsgebiet für die Methoden des Projektmanagement im Rahmen der Kundenauftragsfertigung bietet die Einzel- und Kleinserienfertigung. ⁴² Kundenauftragspezifische Produkte definieren Projekte im klassischen Sinn. Da die Implementierung schlanker Produktionskonzepte zu drastischen Kapazitätsreduktionen führt, steigt somit auch der Bedarf an fundierten Planungs- und Steuerungsmechanismen.

Bei der Beurteilung der Qualität von Standardsoftware für das Projektmanagement (mit deren Hilfe i.d.R. Projektplanung in der Praxis durchgeführt wird) kommt neben der Güte des "Handbuchs" und den "allgemeinen Programmfunktionen" dem Kriterium "Projektplanung bei Kapazitätsrestriktionen" eine herausragende Bedeutung zu. ⁴³ Eine entscheidungstheoretisch fundierte Bewertung von Systemen muß damit auch der methodischen Fundierung Rechnung tragen. Eine experimentelle Evaluation ausgewählter Softwarepakete, ³⁵ die explizit oder implizit auf dem RCPSP basieren, brachte folgendes Ergebnis: ⁴⁴ Die mittlere Abweichung der (mit Hilfe der jeweiligen Softwarepakete ermittelten) Durchlaufzeit von der (als Referenzlösung benutzten optimalen) Durchlaufzeit schwankt zwischen 4.41 % und 9.76 %. Bei Standardabweichungen, die zwischen 5.09 % und 9.82 % liegen, ergeben sich für einzelne, eher schwierige Instanzen, Abweichungen bis zu 40 %. Insbesondere für umfangreiche Projekte der Praxis ist unmittelbar ersichtlich, daß angesichts solcher Abweichungen große Kosteneinsparungen möglich sind.

10 Abschließende Bemerkungen

Fertigungsprozesse, Fertigungssysteme und die Betriebsorganisation wirken entscheidend auf weite Bereiche der industriellen Produktion. Für die Bundesrepublik Deutschland als rohstoffarmes Land hat die fertigungstechnische Forschung damit einen hohen

⁴¹ Reiß (1995).

⁴² Vgl. hierzu v.a. Drexl/Kolisch (1993).

⁴³ Vgl. Kolisch/Hempel (1995).

⁴⁴ Details hierzu findet man in Kolisch/Hempel (1996).

Stellenwert. Angesichts der Globalisierung der Märkte und der damit zunehmenden Konkurrenz ist für die vom Export abhängige deutsche Wirtschaft ein effizienter und ökonomischer Einsatz der (in den letzten Jahren drastisch abgebauten) Kapazitäten zur Erhaltung der Konkurrenzfähigkeit von existenzieller Bedeutung. Die Reduktion der durch die Bereitstellung von Produktionskapazitäten verursachten Kosten und der effiziente Einsatz der Ressourcen sind ein strategischer Erfolgsfaktor. Die Planung und Durchführung der Produktion beruhen bislang in hohem Maße auf Erfahrungswissen; gleiches gilt für die Steuerung von Produktionsabläufen. Bei komplexen, interdependenten, zeitorientierten Abläufen entstehen Probleme, die durch konventionelle Module von Standardsoftware zum Projektmanagement nur unzureichend gelöst werden.

Vor diesem Hintergrund beschreibt der vorliegende Beitrag neuere Entwicklungen der computergestützten Projektplanung. Im Mittelpunkt steht das sogenannte Resource-Constrained Project Scheduling Problem, ein Modell, das explizit oder implizit Softwarepaketen zum Projektmanagement zugrundeliegt. Basierend auf einer parametrischen Charakterisierung von Instanzen werden Methoden vorgestellt, die allen derzeit bekannten Verfahren überlegen sind.

Die hier dargestellten Methoden können auch für verallgemeinerte Problemstellungen der Projektplanung verwendet werden. Genannt sei hier exemplarisch die diskrete Zeit-Ressourcen-Tradeoff-Verallgemeinerung, bei der sowohl die Aktivitätsdauern als auch der Ressourcengebrauch jeder einzelnen Aktivität vom gewählten "Modus" der Bearbeitung abhängt.⁴⁵

Literaturhinweise

- Altrogge, G. (1994): Netzplantechnik. 2. Aufl., Oldenbourg, München-Wien.
- Alvarez-Valdes, 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. Elsevier, Amsterdam, S. 113-134.
- Bell C.E./Han, J. (1991): A new heuristic solution method in resource-constrained project scheduling. Naval Research Logistics, Vol. 38, S. 315-331.
- Boctor, F.F. (1990): Some efficient multi-heuristic procedures for resource-constrained project scheduling. European Journal of Operational Research, Vol. 49, S. 3-13.
- Brockhoff, K. (1992): Forschung und Entwicklung - Planung und Kontrolle. 3. Aufl., Oldenbourg, München-Wien.
- Cooper, D.F. (1976): Heuristics for scheduling resource-constrained projects: An experimental investigation. Management Science, Vol. 22, S. 1186-1194.
- Davis, E.W./Patterson, J.H. (1975): A comparison of heuristic and optimum solutions in resource-constrained project scheduling. Management Science, Vol. 21, S. 944-955.

⁴⁵ Vgl. hierzu z.B. Talbot (1982), Drexler/Grünwald (1993), Kolisch/Drexler (1994), Sprecher (1994) sowie Sprecher et al. (1994).

- Demeulemeester, E./Herroelen, W. (1992): A branch-and-bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem. *Management Science*, Vol. 38, S. 1803-1818.
- Demeulemeester, E./Herroelen, W. (1995): New benchmark results for the resource-constrained project scheduling problem. Working Paper, Katholieke Universiteit Leuven.
- Domschke, W./Scholl, A./Voß, S. (1993): *Produktionsplanung - Ablauforganisatorische Aspekte*. Springer, Berlin.
- Domschke, W./Drexel, A. (1995): *Einführung in Operations Research*. 3. Aufl., Springer, Berlin.
- Drexel, A. (1991): Scheduling of project networks by job assignment. *Management Science*, Vol. 37, S. 1590-1602.
- Drexel, A./Eversheim, W./Grempe, R./Esser, H. (1994a): CIM im Werkzeugmaschinenbau - Der PRISMA Montageleitstand. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Jg. 46, S. 279-295.
- Drexel, A./Fleischmann, B./Günther, H.-O./Stadtler, H./Tempelmeier, H. (1994b): Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Jg. 46, S. 1022-1045.
- Drexel, A./Grünwald, J. (1993): Nonpreemptive multi-mode resource-constrained project scheduling. *IIE Transactions*, Vol. 25/5, S. 74-81.
- Drexel, A./Kolisch, R. (1993): Produktionsplanung und -steuerung bei Einzel- und Kleinserienfertigung. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, Jg. 22, S. 60-66, S. 102-103, S. 137-141.
- Drexel, A./Pesch, E./Salewski, F. (1995): Zur Bedeutung der Modellbildung für die Entwicklung wissensbasierter Systeme. Erscheint in *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*.
- Dworatschek, S./Hayek, A. (1992): *Marktspiegel Projektmanagement-Software - Kriterienkatalog und Leistungsprofile*. 3. Aufl., Verlag TÜV Rheinland, Köln.
- Gaitanides, M. (1983): *Prozeßorganisation*. Vahlen, München.
- Hauschildt, J. (1993): *Innovationsmanagement*. Vahlen, München.
- Icmeli, O. (1995): Analysis of the characteristics of projects in diverse industries. Working Paper, College of Business Administration, Cleveland State University.
- Knolmayer, G./Rückle, D. (1976): Betriebswirtschaftliche Grundlagen der Projektkostenminimierung in der Netzplantechnik. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Jg. 28, S. 431-447.
- Kolisch, R. (1995a): Project scheduling under resource constraints - Efficient heuristics for several problem classes. *Physica*, Heidelberg.
- Kolisch, R. (1995b): Efficient priority rules for the resource-constrained project scheduling problem. Erscheint in *J. of Operations Management*.
- Kolisch, R. (1996): Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation. Erscheint in *European J. of Operational Research*.
- Kolisch, R./Drexel, A. (1994): Local search for nonpreemptive multi-mode resource-constrained project scheduling. Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, Nr. 360.
- Kolisch, R./Drexel, A. (1995): Adaptive search for solving hard project scheduling problems. Erscheint in *Naval Research Logistics*.
- Kolisch, R./Hempel, K. (1995): Experimentelle Evaluation der methodischen Fundierung von Standardsoftware für das Projektmanagement. Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, Nr. 372.

- Kolisch, R./Hempel, K. (1996): Auswahl von Standardsoftware, dargestellt am Beispiel von Programmen für das Projektmanagement. Erscheint in *Wirtschaftsinformatik*.
- Kolisch, R./Sprecher, A./Drexl, A. (1995): Characterization and generation of a general class of resource-constrained project scheduling problems. Erscheint in *Management Science*.
- Krüger, W. (1993): Stichwort "Projektmanagement". In: Wittmann, W. et al. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*. 5. Aufl., Poeschel, Stuttgart, Sp. 3560-3570.
- Küpper, H.-U. (1995): *Controlling - Konzeption, Aufgaben und Instrumente*. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- Küpper, H.-U./Helber, S. (1995): *Ablauforganisation in Produktion und Logistik*. 2. Aufl., Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- Küpper, W./Lüder, K./Streitferdt, L. (1975): *Netzplantechnik*. Physica, Würzburg.
- Leon, V.J./Balakrishnan, R. (1995): Quality and adaptability of problem-space based neighborhoods for resource constrained scheduling. *OR Spektrum*, Bd. 17, S. 173-182.
- Madauss, B.-J. (1990): *Handbuch Projektmanagement*. 3. Aufl., Poeschel, Stuttgart.
- Mingozi, A./Maniezzo, V./Ricciardelli, S./Bianco, L. (1995): An exact algorithm for project scheduling with resource constraints based on a new mathematical formulation. Working Paper, University of Bologna.
- Moder, J.J./Phillips, C.R./Davis, E.W. (1983): *Project management with CPM, PERT and precedence diagramming*. 3. Aufl., van Nostrand Reinhold, New York.
- Nandi, S.N./Dutta, B.K. (1988): Trends in project cost control systems. *OMEGA*, Vol. 16, S. 513-520.
- Neumann, K. (1990): *Stochastic project networks*. Springer, Berlin.
- Reiß, M. (1995): Stichwort "Projektmanagement". Erscheint in: Kern, W. et al. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*. 2. Aufl., Poeschel, Stuttgart.
- Sampson, S.E./Weiss, E.N. (1993): Local search techniques for the generalized resource constrained project scheduling problem. *Naval Research Logistics*, Vol. 40, S. 365-375.
- Schwarze, J. (1994): *Netzplantechnik: Eine Einführung in das Projektmanagement*. 7. Aufl., Verlag Neue Wirtschaftsbriefe. Herne.
- Shaffer, L.R./Ritter, J.B./Meyer, W.L. (1965): *The critical-path method*. McGraw-Hill, New York.
- Slowinski, R./Soniewicki, B./Weglarz, J. (1994): DSS for multiobjective project scheduling. *European J. of Operational Research*, Vol. 27, S. 220-229.
- Sprecher, A. (1994): *Resource-constrained project scheduling - Exact methods for the multi-mode case*. Springer, Berlin.
- Sprecher, A./Hartmann, S./Drexl, A. (1994): Project scheduling with discrete time-resource and resource-resource tradeoffs. *Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel*, Nr. 357.
- Sprecher, A./Kolisch, R./Drexl, A. (1995): Semi-active, active, and non-delay schedules for the resource-constrained project scheduling problem. *European J. of Operational Research*, Vol. 80, S. 94-102.
- Talbot, F.B. (1982): Resource-constrained project scheduling with time-resource tradeoffs: The nonpreemptive case. *Management Science*, Vol. 28, S. 1197-1210.
- Tobias, A. (1991): O.R. techniques for use in redesigning manufacturing and associated business systems. *European J. of Operational Research*, Vol. 51, S. 168-178.

Ulusoy, G./Özdamar, L. (1989): Heuristic performance and network/resource characteristics in resource-constrained project scheduling. J. of the Operational Research Society, Vol. 40, S. 1145-1152.

Valls, V./Perez, M.A./Quintanilla, M.S. (1992): Heuristic performance in large resource-constrained projects. Working Paper, Universitat De Valencia.

Summary

This paper describes recent developments in computer-based project-scheduling. The focus is on the resource-constrained project scheduling problem, a backbone-model of software packages for project management. Based on a parametric characterisation of instances we provide new methods, which outperform all known other procedures. Key components are new priority rules, the computation of regrets, and randomisation.

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschreibt neuere Entwicklungen der computergestützten Projektplanung. Im Mittelpunkt steht das sogenannte Resource-Constrained Project Scheduling Problem, ein Modell, das explizit oder implizit Softwarepaketen zum Projektmanagement zugrundeliegt. Basierend auf einer parametrischen Charakterisierung von Instanzen werden Methoden vorgestellt, die allen derzeit bekannten Verfahren überlegen sind. Wesentliche Komponenten sind neue Prioritätsregeln, die Bestimmung von Regrets sowie eine geeignete Randomisierung.