

Ressourcenbeschränkte Projektplanung mit kostenbehafteten Zusatzkapazitäten

André Schnabel

Leibniz Universität Hannover
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Institut für Produktionswirtschaft

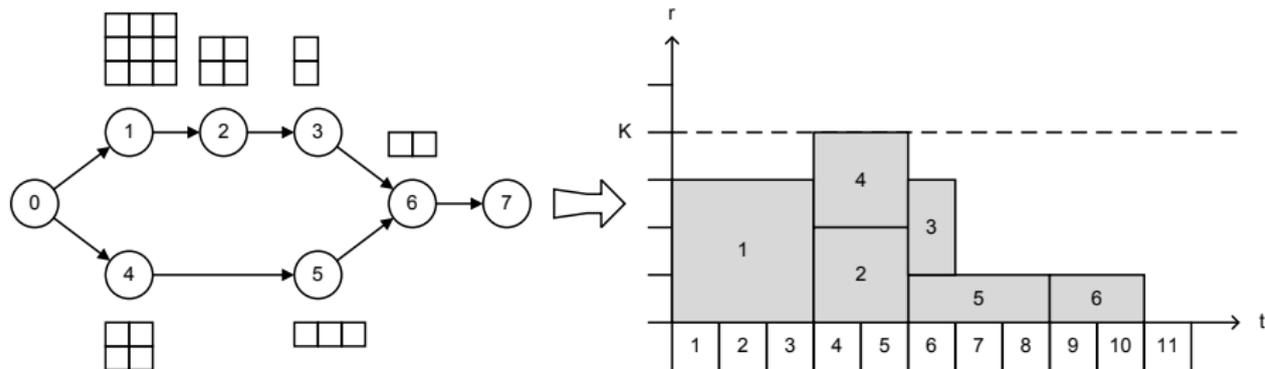
Kurzvortrag für DoWoNo 2014

22. Mai 2014

Gliederung

- 1 Ressourcenbeschränkte Projektplanung und Zusatzkapazitäten
- 2 Verwandte Probleme aus der Literatur
- 3 Heuristischer Lösungsansatz
- 4 Ausblick

- 1 Ressourcenbeschränkte Projektplanung und Zusatzkapazitäten
- 2 Verwandte Probleme aus der Literatur
- 3 Heuristischer Lösungsansatz
- 4 Ausblick



Projektdauer minimierende Einplanung von Arbeitsgängen j mit gegebenen

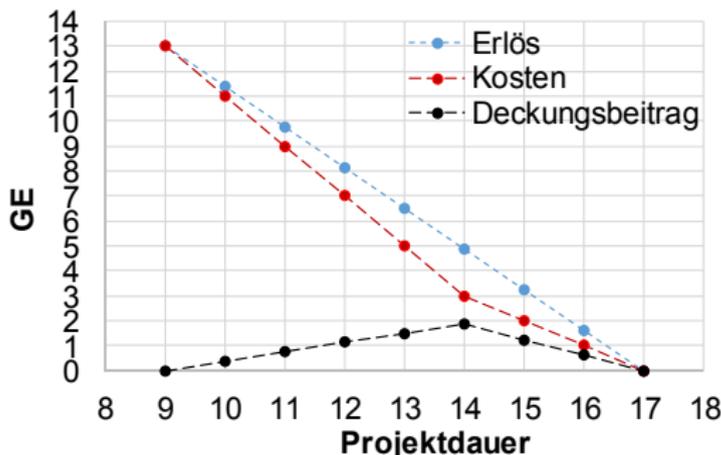
- Dauern d_j
- Ressourcennachfragen $k_{j,r}$
- Reihenfolgebeziehungen $i \in \mathcal{P}_j$
- Kapazitätsrestriktionen K_r

Projektdauer und Deckungsbeitrag

Praxisbeispiel: Aufarbeitung eines Triebwerks durch Dienstleister

- Projektdauer $\downarrow \implies$ Zahlungsbereitschaft \uparrow
- Überstunden $\uparrow \implies$ Projektdauer \downarrow Kosten \uparrow

\implies Maximierung des Deckungsbeitrags als Tradeoff zwischen Dauer- und Kostenminimierung



Entscheidungsmodell: RCPSP

- Zielfunktion

$$\min \sum_{t=EFT_{J+1}}^{LFT_{J+1}} t \cdot x_{J+1,t}$$

- Einmalige Durchführung

$$\sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} x_{jt} = 1 \quad j \in \mathcal{J}$$

- Reihenfolgerestriktionen

$$\sum_{t=EFT_i}^{LFT_i} x_{it} \cdot t \leq \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} x_{jt} \cdot t - d_j \quad j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{P}_j$$

- Kapazitätsrestriktionen

$$\sum_{j=1}^J \sum_{\tau=t}^{t+d_j-1} k_{jr} \cdot x_{j\tau} \leq K_r \quad r \in \mathcal{R}, t \in \mathcal{T}$$

Entscheidungsmodell: RCPSP-OC

- Zielfunktion

$$\max \sum_{t=EFT_{J+1}}^{LFT_{J+1}} u_t \cdot x_{J+1,t} - \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t \in \mathcal{T}} k_r \cdot z_{rt}$$

- Einmalige Durchführung

$$\sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} x_{jt} = 1 \quad j \in \mathcal{J}$$

- Reihenfolgerestriktionen

$$\sum_{t=EFT_i}^{LFT_i} x_{it} \cdot t \leq \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} x_{jt} \cdot t - d_j \quad j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{P}_j$$

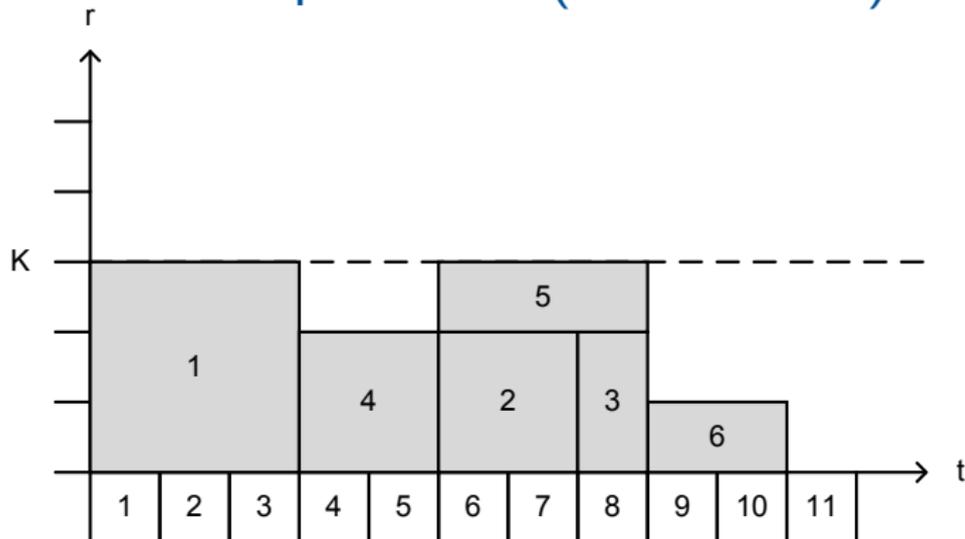
- Kapazitätsrestriktionen

$$\sum_{j=1}^J \sum_{\tau=t}^{t+d_j-1} k_{jr} \cdot x_{j\tau} \leq K_r + z_{rt} \quad r \in \mathcal{R}, t \in \mathcal{T}$$

- Obere Schranke für Zusatzkapazität

$$z_{rt} \leq \bar{z}_r \quad r \in \mathcal{R}, t \in \mathcal{T}$$

Ressourcenbeschränkte Projektplanung mit Zusatzkapazitäten (RCPSP-OC)

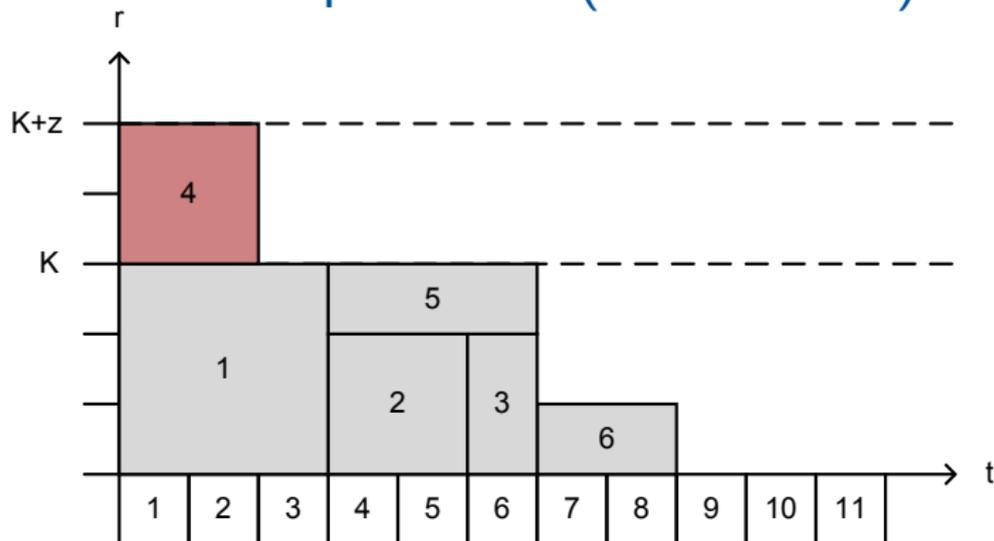


Überstundenkosten: 0 GE

Projektdauer: 10 Perioden → Erlös: 1 GE

Deckungsbeitrag: 1 GE - 0 GE = 1 GE

Ressourcenbeschränkte Projektplanung mit Zusatzkapazitäten (RCPSP-OC)



Überstundenkosten: 4 GE

Projektdauer: 8 Perioden → Erlös: 7 GE

Deckungsbeitrag: 7 GE - 4 GE = 3 GE

- 1 Ressourcenbeschränkte Projektplanung und Zusatzkapazitäten
- 2 Verwandte Probleme aus der Literatur
- 3 Heuristischer Lösungsansatz
- 4 Ausblick

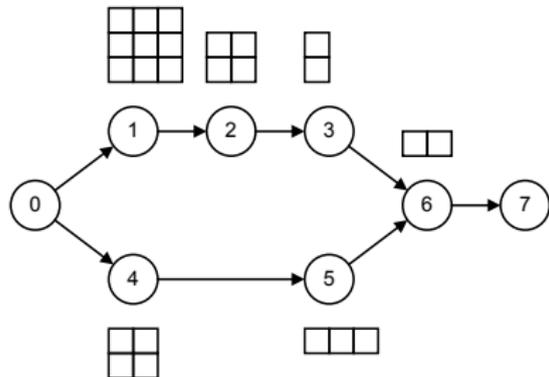
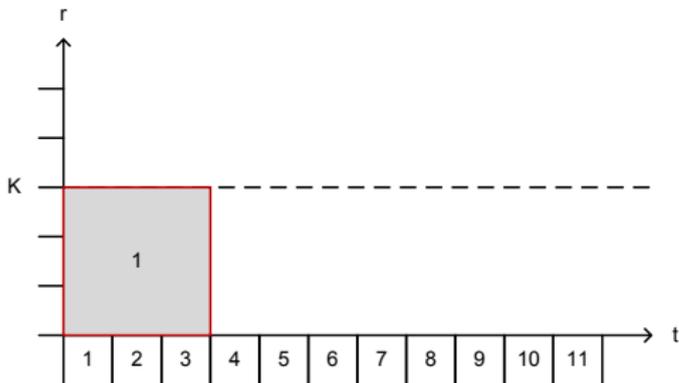
- Variable Kapazitäten
 - Ressourcenprofil als Parameter Klein (2000), Hartmann (2012)
 - Ressourceninvestitionsproblem Möhring (1984)
 - Ressourcenabweichungsproblem Neumann et al. (2003)
 - Ressourcenüberladungsproblem Neumann et al. (2003)
- Variable Ressourcennachfrage
 - Flexible Ressourcenprofile Ranjbar and Kianfar (2010)
 - Zeit-Kosten-Tradeoff-Problem Demeulemeester et al. (1996)

- 1 Ressourcenbeschränkte Projektplanung und Zusatzkapazitäten
- 2 Verwandte Probleme aus der Literatur
- 3 Heuristischer Lösungsansatz**
- 4 Ausblick

Motivation zur Verwendung eines seriellen Schedule Generation Scheme (SSGS)

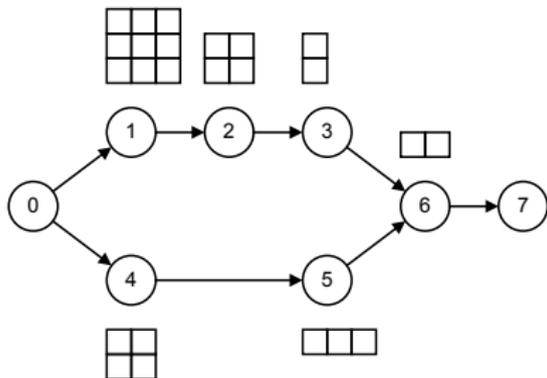
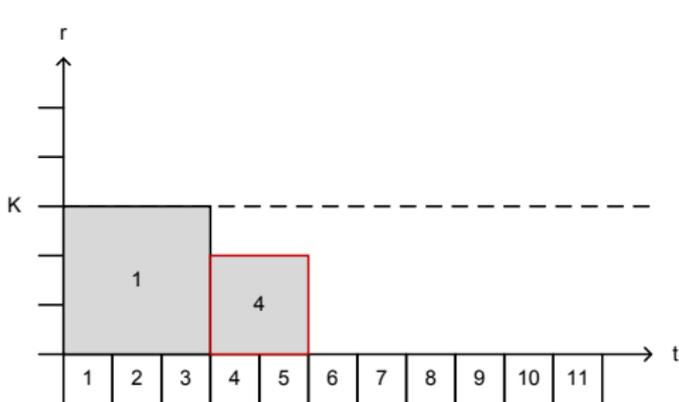
- RCPSP \preceq_p RCPSP-OC: $\bar{z}_r = 0, u_t = -t$
 - RCPSP-OC ist \mathcal{NP} -schweres Problem
 - optimale Lösungsverfahren für praxisnahe Problemgrößen nicht handhabbar
→ Heuristik
- Dominierende Heuristiken in Untersuchung von RCPSP-Heuristiken (Kolisch & Hartmann 2005):
Metaheuristiken basierend auf
 - Seriellen Schedule Generation Scheme (SSGS)
 - Aktivitätenlistenrepräsentation, zum Beispiel:
 $\lambda = (0, 1, 4, 2, 5, 3, 6, 7)$

Beispiel: Ablauf des SSGS



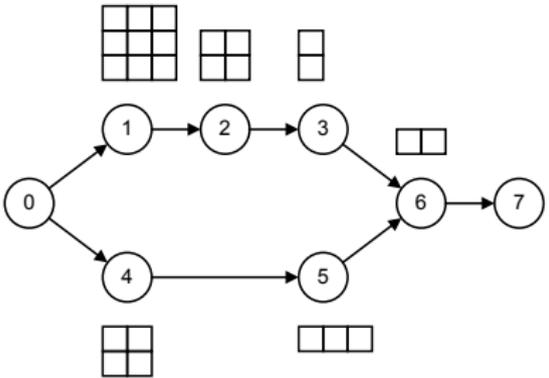
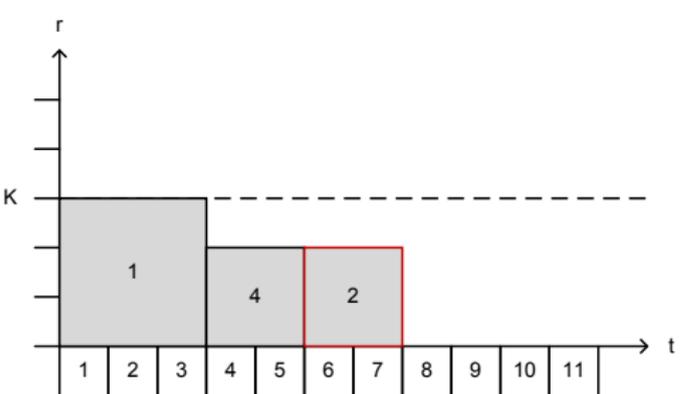
$$\lambda = (0, \mathbf{1}, 4, 2, 5, 3, 6, 7)$$

Beispiel: Ablauf des SSGS



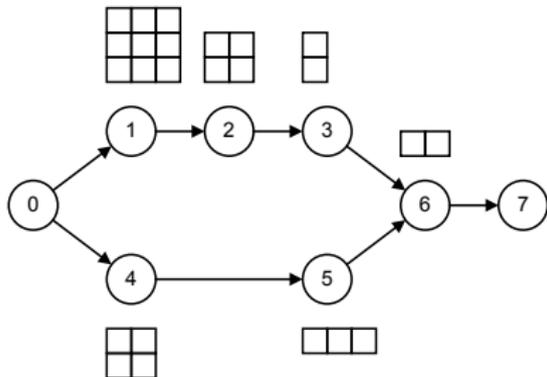
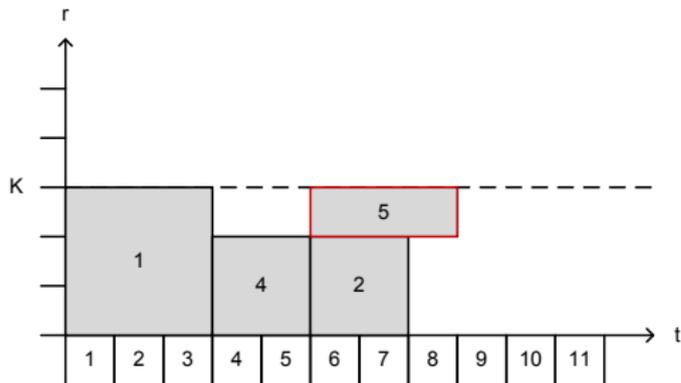
$$\lambda = (0, 1, \mathbf{4}, 2, 5, 3, 6, 7)$$

Beispiel: Ablauf des SSGS



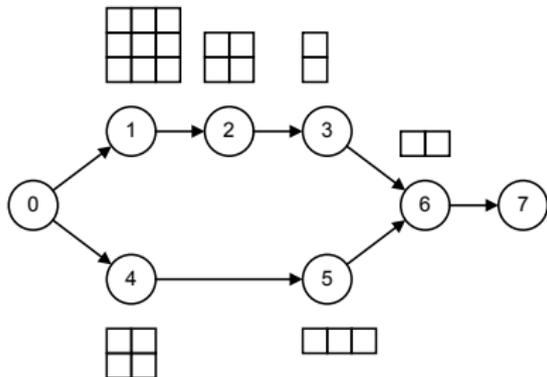
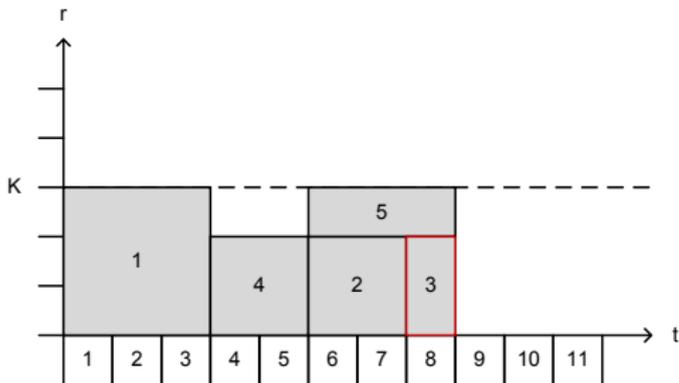
$$\lambda = (0, 1, 4, \mathbf{2}, 5, 3, 6, 7)$$

Beispiel: Ablauf des SSGS



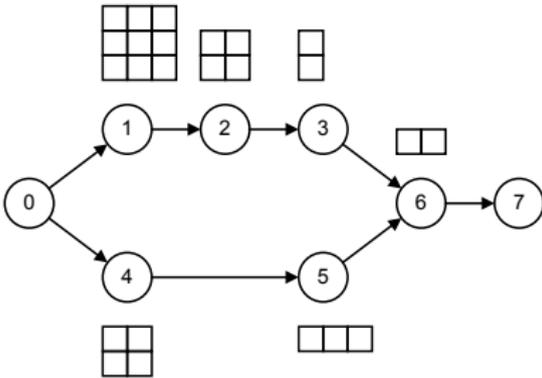
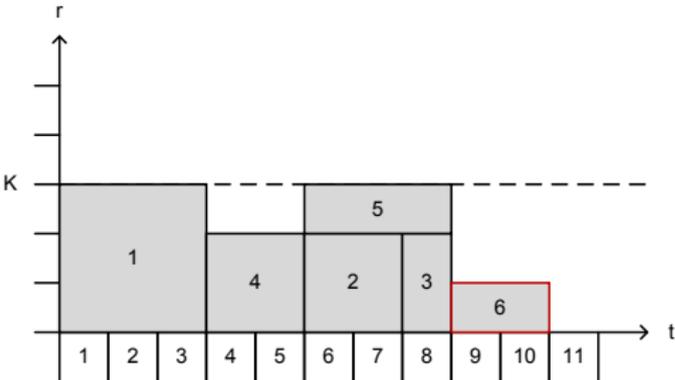
$$\lambda = (0, 1, 4, 2, \mathbf{5}, 3, 6, 7)$$

Beispiel: Ablauf des SSGS



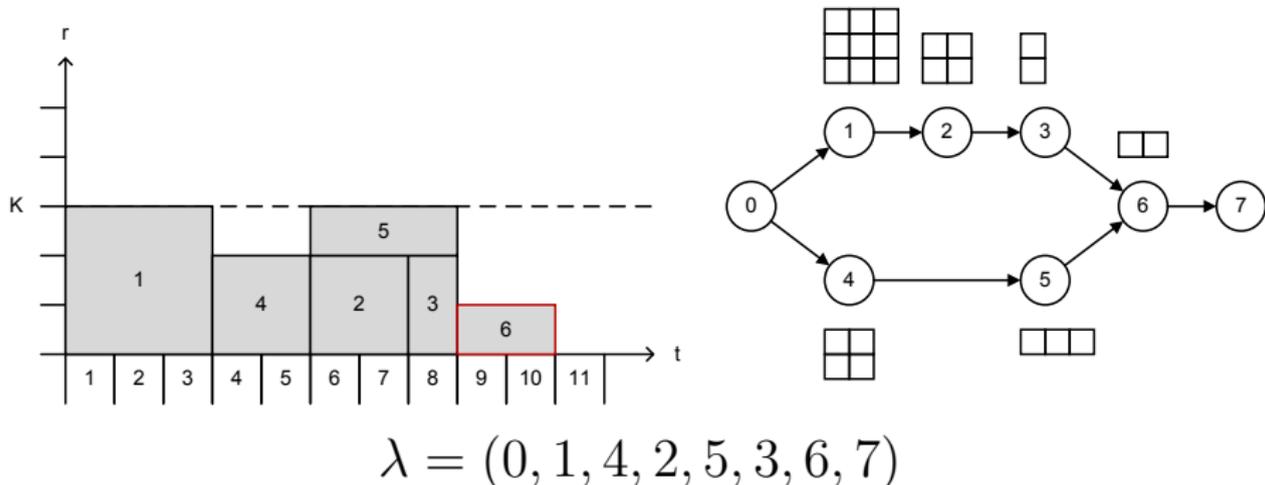
$$\lambda = (0, 1, 4, 2, 5, \mathbf{3}, 6, 7)$$

Beispiel: Ablauf des SSGS



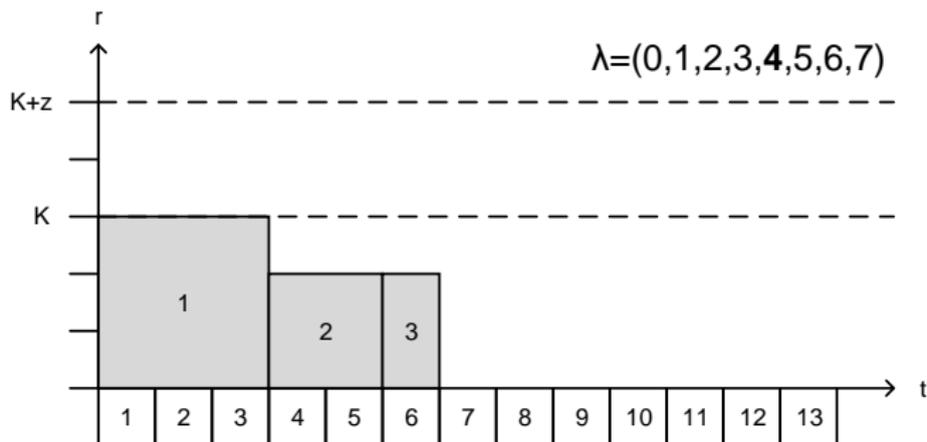
$$\lambda = (0, 1, 4, 2, 5, 3, \mathbf{6}, 7)$$

Beispiel: Ablauf des SSGS



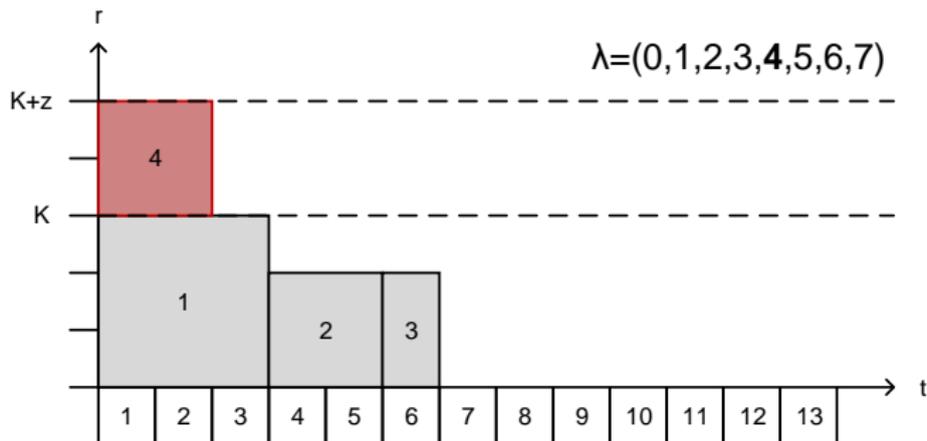
Problem: SSGS nur bei gegebenen Kapazitäten
anwendbar

Grundidee des angepassten SSGS: Einplanung von AG 4



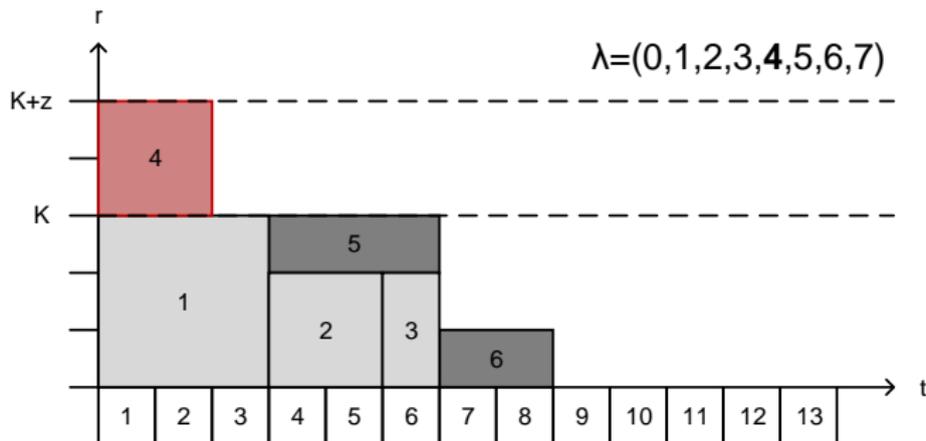
Bisher Arbeitsgänge 0, 1, 2 und 3 eingeplant.

Grundidee des angepassten SSGS: Einplanung von AG 4



Früheste Reihenfolgezulässigkeit \underline{t}
 AG 4 mit $ST_4 = \underline{t} = 1$ einplanen.

Grundidee des angepassten SSGS: Einplanung von AG 4



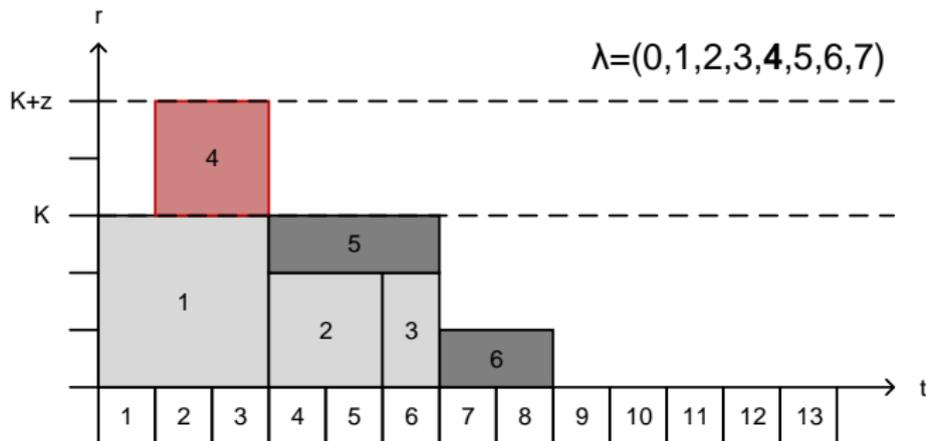
Früheste Reihenfolgezulässigkeit \underline{t}

AG 4 mit $ST_4 = \underline{t} = 1$ einplanen.

$$DB = u_8 - \sum_t z_{rt} = 7 \text{ GE} - 4 \text{ GE} = 3 \text{ GE}$$

Grundidee des angepassten SSGS:

Einplanung von AG 4



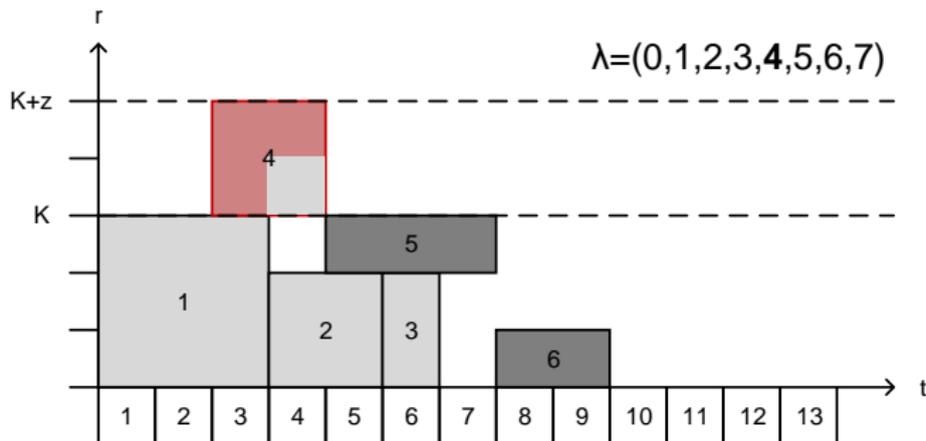
Inkrementiere

AG 4 mit $ST_4 = 2$ einplanen.

$$DB = u_8 - \sum_t z_{rt} = 7 \text{ GE} - 4 \text{ GE} = 3 \text{ GE}$$

Grundidee des angepassten SSGS:

Einplanung von AG 4

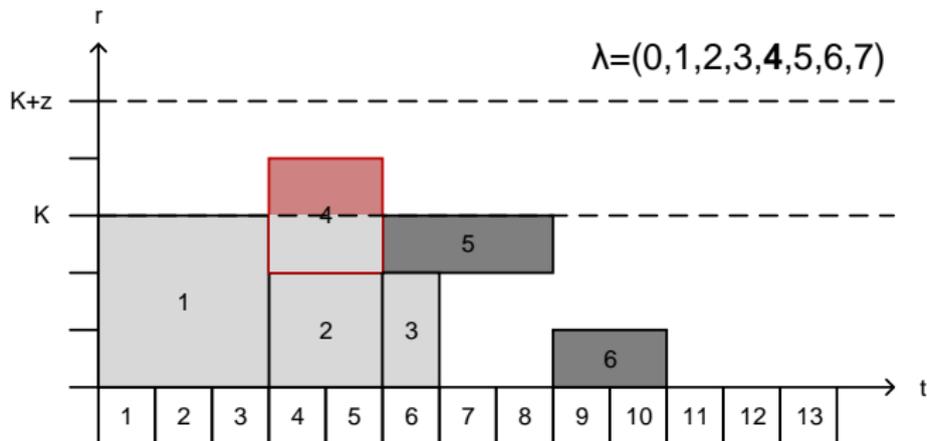


Inkrementiere

AG 4 mit $ST_4 = 3$ einplanen.

$$DB = u_9 - \sum_t z_{rt} = 6 \text{ GE} - 3 \text{ GE} = 3 \text{ GE}$$

Grundidee des angepassten SSGS: Einplanung von AG 4



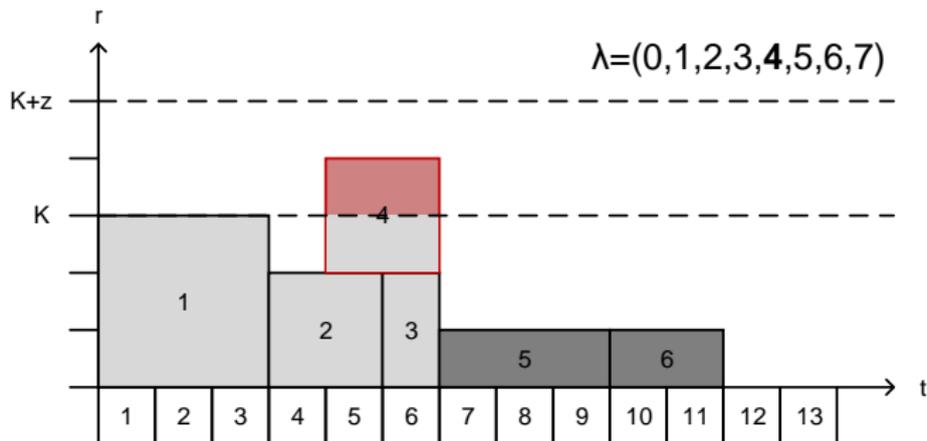
Inkrementiere

AG 4 mit $ST_4 = 4$ einplanen.

$$DB = u_{10} - \sum_t z_{rt} = 6 \text{ GE} - 2 \text{ GE} = 4 \text{ GE}$$

Grundidee des angepassten SSGS:

Einplanung von AG 4



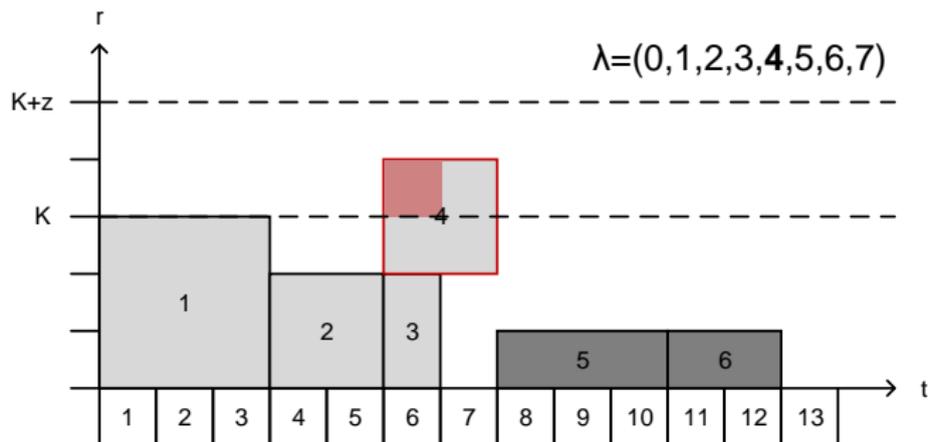
Inkrementiere

AG 4 mit $ST_4 = 5$ einplanen.

$$DB = u_{11} - \sum_t z_{rt} = 2 \text{ GE} - 2 \text{ GE} = 0 \text{ GE}$$

Grundidee des angepassten SSGS:

Einplanung von AG 4



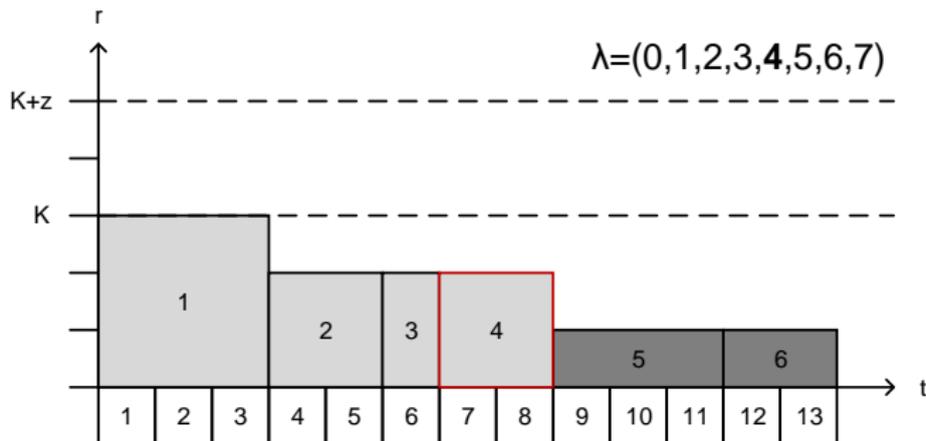
Inkrementiere

AG 4 mit $ST_4 = 6$ einplanen.

$$DB = u_{12} - \sum_t z_{rt} = 1 \text{ GE} - 1 \text{ GE} = 0 \text{ GE}$$

Grundidee des angepassten SSGS:

Einplanung von AG 4

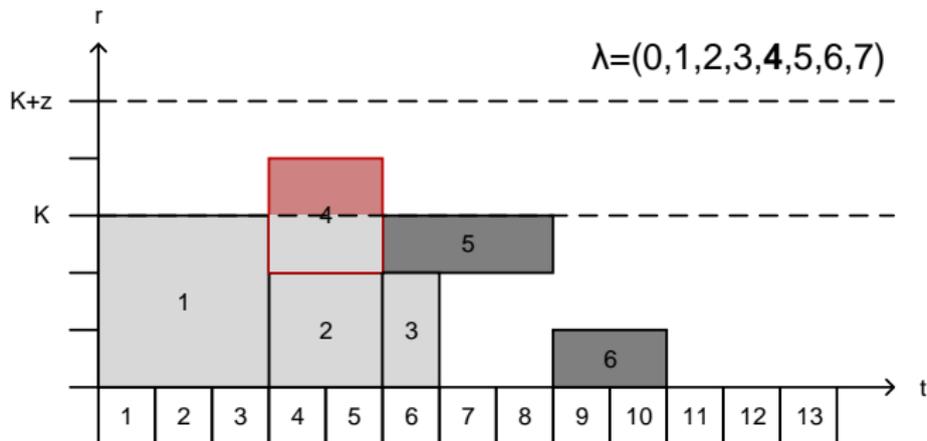


Früheste Ressourcenzulässigkeit \bar{t}

AG 4 mit $ST_4 = \bar{t} = 7$ einplanen.

$$DB = u_{13} - \sum_t z_{rt} = 0 \text{ GE} - 0 \text{ GE} = 0 \text{ GE}$$

Grundidee des angepassten SSGS: Einplanung von AG 4



Optimaler Einplanungszeitpunkt

AG 4 mit $ST_4 = 4$ einplanen.

$$DB = u_{10} - \sum_t z_{rt} = 6 \text{ GE} - 2 \text{ GE} = 4 \text{ GE}$$

Bei Einplanung von AG j :

- Für alle Perioden t zwischen Reihenfolgezulässigkeit und Ressourcenzulässigkeit von AG j :
 - Vervollständigung des Teilplans mit $ST_j = t$ und SSGS ohne Zusatzkapazität
 - Bestimmung des Deckungsbeitrags
- Setze Startzeit von AG j auf Periode, bei der vervollständigter Plan den Deckungsbeitrag maximiert

Bestimmung Aktivitätenliste λ

- Lösungsgüte von Aktivitätenliste λ abhängig
- Vollständige Enumeration topologischer Sortierungen nicht handhabbar
→ Suchraum mit Metaheuristik (GA) erkunden

Individuum	Fitness
$(\lambda) = (0, 1, 4, 2, 5, 3, 6, 7)$	DB von Plan erzeugt durch SSGS-OC
$\begin{pmatrix} \lambda \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0, 1, 4, 2, 5, 3, 6, 7 \\ 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0 \end{pmatrix}$	DB von Plan erzeugt durch SSGS

Testinstanzen: 286 Projekte (PROGEN, PSPLIB, j30)
je 30+2 Arbeitsgänge.

Repräsentation	(λ)	$\begin{pmatrix} \lambda \\ \beta \end{pmatrix}$
Ø Abweichung	0,15%	0,31%
Max. Abweichung	2,18%	6,58%
%Optimal	83,57%	77,62%
Ø Zeit	1,54s	0,14s

- 1 Ressourcenbeschränkte Projektplanung und Zusatzkapazitäten
- 2 Verwandte Probleme aus der Literatur
- 3 Heuristischer Lösungsansatz
- 4 **Ausblick**

- Verbesserung der Heuristik
- Generalisierung der Problemstellung

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

- Demeulemeester, E. L., W. S. Herroelen, and S. E. Elmaghraby (1996, January). Optimal procedures for the discrete time/cost trade-off problem in project networks. *European Journal of Operational Research* 88(1), 50–68.
- Hartmann, S. (2012, February). Project scheduling with resource capacities and requests varying with time: a case study. *Flexible Services and Manufacturing Journal* 25(1-2), 74–93.
- Klein, R. (2000, November). Project scheduling with time-varying resource constraints. *International Journal of Production Research* 38(16), 3937–3952.
- Möhring, R. (1984). Minimizing costs of resource requirements in project networks subject to a fixed completion time. *Operations Research* 32(1), 89–120.
- Neumann, K., C. Schwindt, and J. Zimmermann (2003). *Project scheduling with time windows and scarce resources*, Volume 149. Springer.
- Ranjbar, M. and F. Kianfar (2010). Resource-Constrained Project Scheduling Problem with Flexible Work Profiles: A Genetic Algorithm Approach. *Scientia Iranica, Transaction E: Industrial Engineering*, Vol. 17, No. 1 pp. 25-35 17(1), 25–35.