DISKUSSIONSBEITRAG | WORKING PAPER

Ein Optimierungsansatz zur strategischen Projektprogrammplanung bei begrenzten Ressourcen, Budgets und Risiko

Autor:

Michael Jahr

Juli/August 2016

Issn 1860-3661

NR.17

Europäische Fachhochschule Brühl
Kaiserstraße 6 | 50321 Brühl
info@eufh.de | www.eufh.de

EUROPÄISCHE FACHHOCHSCHULE

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1. Das Problem der Projektbündelung

In diesem Diskussionsbeitrag wird ein nichtlinearer-gemischt-ganzzahliger Optimierungsansatz zur nettobarwertmaximalen Projektprogrammbildung bei begrenzten Ressourcen, Budgets und Risiko präsentiert. Der Ansatz fußt thematisch auf dem Problem der Projektauswahl, welches bereits seit mehreren Jahrzenten intensiv in der relevanten Fachliteratur betrachtet wird [1], [4]. So sind für das hier vorgestellte Planungsmodell insbesondere Arbeiten zur nettobarwertmaximalen Projektauswahl grundlegend [2], [3], [9], wobei diese allerdings nicht wie hier thematisiert den Aspekt der strategisch gewinnorientierten Risikobündelung bei begrenzten Kapazitäten betrachten. Üblicherweise konzentriert sich die (strategische) Bündelung von Projekten in Unternehmen auf das Gebiet der (Projekt-)Portfoliobildung [5]. Dabei ist jedoch zu beachten, dass ein Portfolioansatz primär für eine systematische Risikominimierung eingesetzt wird [6]. Ziel dabei ist es ein Gesamtbündel aus Projekten zu erstellen, dessen Wechselwirkungen bzw. Zusammenhänge (Korrelationen) systematisch einen insgesamt global risikominierenden Effekt hervorbringen sollen (Diversifikation). Daraus resultiert, dass Projekte, die aus einer wirtschaftlichen Einzelbetrachtung heraus unvorteilhaft sind, dennoch in ein Portfolio eingehen können, da sie auf das Bündel im Zusammenspiel mit den übrigen (vorteilhaften) Projekten beispielsweise durch gemeinsame Ressourcennutzung etc. global risikomindernd einwirken. Daher können global risikominimale Projektportfolios evtl. nicht gleichzeitig gewinnmaximal sein. Sofern also vornehmlich die Gewinnmaximierung durch eine Projektbündelung angestrebt wird, so sind zunächst einmal nur vorteilhafte Projekte in Betracht zu ziehen, wobei Zusammenhänge zwischen den Projekten nicht zwangsläufig bestehen müssen. Gleichwohl entsteht auch hier möglicherweise ein unsystematischer Diversifikationseffekt, da auch Korrelationskoeffizienten von “null“ eine Risikominderung bewirken können [12]. In diesem Fall entsteht das Problem der gewinnmaximalen Projektprogrammbildung [7]. Sowohl bei Projektportfolios als auch bei Projektprogrammen stellt sich weiterhin auf operativer Ebene das Problem der Projektdurchlaufplanung [8]. Insbesondere bei parallelen Projekten, die um gemeinsame Ressourcenkapazitäten konkurrieren, entsteht ein komplexes Planungsproblem [2]. Grundsätzlich gilt, dass eine simultane Betrachtung strategischer Projektauswahlentscheidungen und operativer Ablaufentscheidungen tendenziell bessere Ergebnisse hinsichtlich der Zielsetzung verspricht, als eine getrennte Betrachtung. Grund hierfür ist, dass Interdependenzen explizit in der Optimierung berücksichtigt werden. Allerdings sind solche Ansätze aufgrund ihres Umfangs und ihrer Komplexität häufig für kleine und mittlere Unternehmen wenig praktikabel, sofern überhaupt ein optimales Lösungsverfahren existiert und nicht ohnehin eine heuristische Lösung notwendig ist [13]. Erfahrungsgemäß müssen quantitative Verfahren übersichtlich und schnell sein, um Akzeptanz bei industriellen Anwendern zu erzeugen [13]. So ist eine Trennung strategischer und operativer Fragen aus Sicht einer erhöhten Praktikabilität zu Lasten einer möglichen Optimalität vertretbar. So beschränkt sich der hier vorgestellte Ansatz auf die strategische Projektauswahl als Grundlage für eine nachfolgende Ablaufplanung mit den dann bekannten Projekten des gesamten Projektprogramms [10], [11].

2. Nettobarwertmaximale Projektprogrammermittlung bei begrenzten Ressourcen, Budgets und Risiko

2.1 Prämissen

Für den Planungsansatz werden Projekte als eine Abfolge von Tätigkeiten für einen längerfristigen Zeitraum mit monetären Zahlungskonsequenzen betrachtet, so dass die (Gesamt-)Projektdauer in einzelne Projekt(teil-)perioden unterteilt werden kann. Hierdurch können einzelne Projekte durch ihre individuellen zukünftigen Zahlungen zeitpunktgenau abgebildet werden, wobei die Periodenzahlungen mit Unsicherheit behaftet und somit nicht exakt bekannt sind. Zur Bewertung der individuellen Projekte und des Projektprogramms werden die erwarteten Barwerte der Periodenzahlungsüberschüsse angesetzt. Für die Verteilung der zukünftigen Periodenzahlungsüberschüsse wird basierend auf dem zentralen Grenzwertsatz eine normalverteilte Zufallsvariable unterstellt. Weiterhin wird unterstellt, dass die Verteilungen in einem individuellen Projekt identisch und unabhängig sind, während die Verteilungen zwischen den Projekten lediglich unabhängig sind. Für die Ermittlung des erwarteten Barwerts μ_p und der Standardabweichung σ_P um den erwarteten Barwert eines Projekts $p \in P$ mit normalverteilten identischen und unabhängigen Periodenzahlungsüberschüssen für t=1,2,…,T Perioden $Z\ddot{U}_t \sim N(\mu, \sigma)$ gilt dann unter Zuhilfenahme des Rentenbarwertfaktors (RBF) für einen Kalkulationszinssatz i und eine Projektdauer T:

$$\mu_p = \mu \cdot RBF(i, T) = \mu \cdot \left(\frac{1}{i} - \frac{1}{i \cdot (1+i)^T}\right) \tag{F.1}$$

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma^2 \cdot T} \tag{F.2}$$

Äquivalent gilt durch (F.1) und (F.2) für die Barwerte der einzelnen Projekte $BW_p \sim N(\mu_p, \sigma_p)$.

Dann lässt sich der Barwert des Projektprogramms, gegeben ein Projekt wird durch $x_p \in \{0,1\}$ in das Programm aufgenommen ($x_p = 1$), wiederum als normalverteilte Zufallsvariable $BW_{Prog} \sim N(\mu_{Prog}, \sigma_{Prog})$ mit zentralen Momenten darstellen durch:

$$\mu_{Prog} = \sum_{p=1}^{P} \mu_p \cdot x_p \tag{F.3}$$

$$\sigma_{Prog} = \sqrt{\sum_{p=1}^{P} \sigma_p^2 \cdot x_p} \tag{F.4}$$

2.2 Optimierungsmodell

Im Folgenden wird ein gemischt-ganzzahliges-nichtlineares Programm präsentiert mit dessen Hilfe ein nettobarwertmaximales Projektprogramm bei begrenzten Ressourcen und Budgets sowie unter maximaler Risikovorgabe ermittelt werden kann.

Symbole:

Indizes

J Ressourcen mit j = 1,2,…, J

P Projekte mit p = 1,2,…, P

Parameter

$a_{j,p}$ Koeffizient der Ressourcenbelastung

B Budget in [GE]

K_p Initiale Kosten des Projekts $p \in P$ in [GE]

L_j Kapazitätsgrenze der Ressource $j \in J$ in [ZE]

R Programmrisikogrenze gemessen am Variationskoeffizient in [%]

$\chi^{Min}; \chi^{Max}$ Begrenzungen des Umfangs des Projektprogramms als Anzahl der Projekte

μ_p Erwarteter Barwert der Periodenzahlungsüberschüsse von Projekt p = 1,2,…,P in [GE]

σ_p Standardabweichung um den erwarteten Barwert der Periodenzahlungsüberschüsse von Projekt $p \in P$ in [GE]

Entscheidungsvariablen

x_p Binäre Entscheidungsvariable, die den Wert $x_p = 1$ annimmt, wenn ein Projekt in das Programm aufgenommen wird und $x_p = 0$ wenn nicht

μ_{Prog} Kontinuierliche Entscheidungsvariable, die den Erwartungswert des Programmbarwerts in [GE] angibt

σ_{Prog} Kontinuierliche Entscheidungsvariable, die die Standardabweichung um den Erwartungswert des Programmbarwerts in [GE] angibt

Das mathematische Modell lautet dann wie folgt:

$$\mathrm{Max}_{x_p}\, Z = \sum_{p=1}^{P} (\mu_p - K_p) \cdot x_p \tag{F.5}$$

Unter Beachtung der Restriktionen

$$\sum_{p=1}^{P} a_{j,p} \cdot x_p \leq L_j \qquad j=1,2,\ldots,J \tag{F.6}$$

$$\sum_{p=1}^{P} K_p \cdot x_p \leq B \tag{F.7}$$

$$\chi^{Min} \leq \sum_{p=1}^{P} x_p \leq \chi^{Max} \tag{F.8}$$

$$\mu_{Prog} = \sum_{p=1}^{P} \mu_p \cdot x_p \tag{F.9}$$

$$\sigma_{Prog} = \sqrt{\sum_{p=1}^{P} \sigma_p^2 \cdot x_p} \tag{F.10}$$

$$\frac{\sigma_{Prog}}{\mu_{Prog}} \leq R \tag{F.11}$$

$$x_p \in \{0,1\} \qquad p=1,2,\ldots,P \tag{F.12}$$

$$\mu_{Prog} > 0 \tag{F.13}$$

$$\sigma_{Prog} > 0 \tag{F.14}$$

Die Bewertung des Gesamtprojekts inklusive initialer Kosten gelingt in der Zielfunktion Z durch die Ermittlung des Nettobarwerts $(\mu_p - K_p)$, wobei nur Projekte in die Betrachtung aufgenommen werden, deren Nettobarwerte positiv sind. Die Zielfunktion (F.5) ermittelt die maximale Summe der erwarteten Nettobarwerte aller Projekte, die in das Programm aufgenommen werden. Im System der Nebenbedingungen stellt (F.6) sicher, dass die verfügbare Ressourcenkapazität L_j der j=1,2,…,J Ressourcen nicht überschritten werden kann. Hierzu wird linksseitig der Gesamtkapazitätsbedarf der jeweiligen Ressourcen durch die Projekte ermittelt. Hierbei kommen durch x_p nur tatsächlich gewählte Projekte in Betrachtung. Der jeweilige Kapazitätsbedarf wird durch den Koeffizienten $a_{j,p}$ dargestellt. Dem gleichen Prinzip folgt Nebenbedingung (F.7). Hier wird das maximal verfügbare Gesamtbudget abgebildet, das für die Anfangsauszahlungen K_p zum Zeitpunkt t=0 zur Verfügung steht. In (F.8) können die Grenzen des Projektprogramms vorgegeben werden. Der Erwartungswert des Barwerts der Periodenzahlungsüberschüsse des Projektprogramms μ_{Prog} wird durch (F.9) ermittelt. Die Streuung wird gemessen durch die Standardabweichung und in (F.10) entsprechend errechnet, die gleichzeitig die Nichtlinearität des Programms begründet. In Nebenbedingung (F.11) wird die Risikokennziffer des Programms eingegrenzt. Im betrachteten Fall wird angenommen, dass eine Abweichung ungeachtet der Richtung als negativ empfunden wird und dadurch die Standardabweichung als Streuungs- und somit Risikomaß ausreichend ist. Zur besseren Vergleichbarkeit der Risikoausprägung eines Projektprogramms bietet sich der Variationskoeffizient an. Schließlich definieren die Nebenbedingungen (F.12) bis (F.14) die zulässigen Wertebereiche.

2.3 Anwendungsbeispiel

Der Ansatz wurde mit der Optimierungssoftware GAMS (General Algebraic Modeling System) auf einem Intel® Core ™ i5 Rechner mit 2.60 GHz und 8,00 GB RAM umgesetzt. Für die nachfolgende nichtlineare Probleminstanz wurde der BARON-Solver eingesetzt, der unterhalb einer Sekunde eine Lösung generiert hat.

Beispielhaft seien fünf mögliche vorteilhafte Projekte angenommen, deren Anfangsinvestitionen und Momente der Barwerte der Periodenzahlungsüberschüsse aus Tabelle 1 und deren Kapazitätsparameter aus Tabelle 2 entnommen werden können:

Projekt	**Anfangsinvestition K_p in [GE]**	**Erwartungswert der Barwerte der Periodenzahlungsüberschüsse μ_p in [GE]**	**Standardabweichung um den Erwartungswert der Barwerte der Periodenzahlungsüberschüsse σ_p in [GE]**
P_1	90	100	50
P_2	120	200	100
P_3	150	300	150
P_4	120	400	200
P_5	200	500	250

Tabelle 1: Projektdaten in [GE]

Ressource / Projekt	**P_1**	**P_2**	**P_3**	**P_4**	**P_5**
J1	5	5	5	5	15
J2	10	10	10	10	10

Tabelle 2: Koeffizienten der Kapazitätsverbräuche in [ZE]/Projekt

Für das Projektprogramm stehen insgesamt B = 400 [GE] zu Beginn zur Verfügung. Das Programmrisiko soll R = 30 % kumulierte Abweichung nicht überschreiten. Für die Ressourcen J_1 und J_2 stehen maximal 30 [ZE] bzw. 100 [ZE] zur Verfügung.

Die Optimierung ergibt ein nettobarwertoptimales Projektprogramm von 510 [GE], das aus den drei Projekte P_2, P_3 und P_4 gebildet wird. Das Budget wird nicht völlig ausgeschöpft, da für das Programm 390 [GE] der 400 [GE] verfügbaren abgerufen werden. Die Kapazitätsbelastungen können aus den Belastungsprofilen in Abbildungen 1 entnommen werden.

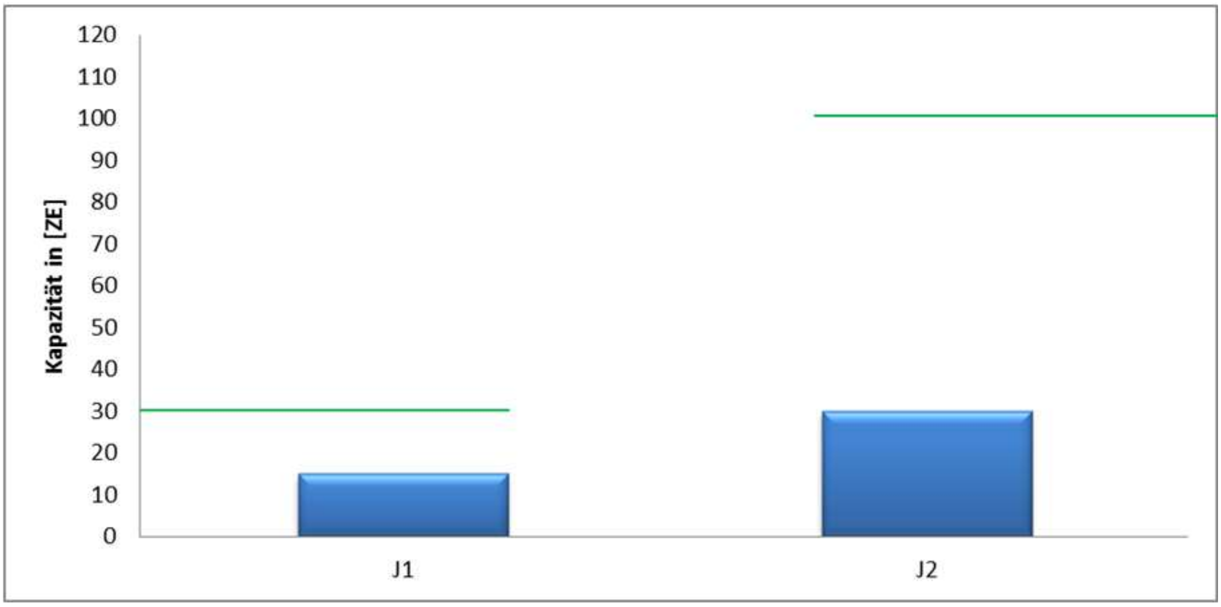

Abbildung 1: Kapazitätsbelastungsprofil

Es zeigt sich, dass bei der Beispieldatenkonstellation die Ressourcen und Budgetrestriktion nicht die bindenden Nebenbedingungen sind. Bei den Ressourcen stellt sich das für zeitdiskrete Ansätze häufige Problem der Unterauslastung ein, die im Rahmen einer (manuellen) Feinplanung gleichmäßiger verteilt werden kann oder aber für abweichende Aufgaben oder Projekte eingesetzt wird. Gleichwohl ließe sich daraus auch ein Zustand der Überkapazitäten ableiten. Vielmehr ist das Programmrisiko (F.11) die eingrenzende Restriktion. Bei der hier betrachteten Datenkonstellation stellt sich ein unsystematischer Diversifikationseffekt ein, da das Risiko der Summe der Projekte geringer ist als die Summe der Einzelrisiken. Das Projektprogrammrisiko ist mit 29,92 % nur knapp unterhalb des zulässigen Gesamtrisikos von 30% Abweichung.

3. Fazit

Der vorgestellte Ansatz ist ein hilfreiches Instrument, um die schwierige strategische Aufgabe mehrere wirtschaftlich vorteilhafte Projekte bei begrenzten Kapazitäten und unter Risiko zu selektieren, erfolgreich bewältigen zu können. Hierdurch wird der Auswahlprozess insgesamt objektiver und weniger abhängig von der subjektiven Einschätzung verantwortlicher Manager, die häufig auf falschen Eindrücken beruht, nicht wiederholbar und nicht transparent ist. Zusätzlich lässt sich auch das Risiko des Programms durch mögliche unsystematische Diversifikationseffekte minimieren, wenngleich auch nicht global risikominimal systematisch erzeugen. Es gilt wie für jedes quantitative Instrument, dass dieses nur bedingt alleinstehend eingesetzt werden kann oder sollte. Zwar ist es grundsätzlich möglich das Modellergebnis direkt zu übernehmen, jedoch bleiben dann möglich relevante qualitative Kriterien außer Acht. Ihre volle Stärke entfalten solche Modelle stets in der Verbindung von subjektiver und objektiver Entscheidungsfindung. Sie dienen der Entscheidungsunterstützung und sichern den Entscheidungsträger ab. Im vorliegenden Fall kann der Ansatz in das strategische Gesamtinstrumentarium eines Unternehmens bei der gewinnorientierten Leistungserstellung sinnvoll integriert werden. Beispielsweise könnte er ergänzend in einer Wertketten- oder Wertstromanalyse bei der Identifikation der strategischen Tätigkeitsfelder eingesetzt werden. Weiterhin ist ein Einsatz im Rahmen einer Produkt- und/oder Kundenklassifizierung möglich, wo mithilfe des Projektprogramms die Machbarkeit überprüft werden kann.

Literaturverzeichnis

[1] Verbano, C. and Nosella, A., (2010): Addressing R&D investment decisions: a cross analysis of R&D project selection methods, *European Journal of Innovation Management*, Vol. 13 (3), pp. 355 – 379.

[2] Gupta, S.K., Kyparisis, J., and lp, C. (1992): Project selection and sequencing to maximize net present value of the total return, *Management Science*, Vol. 38, pp. 751 – 752.

[3] Gupta, S.K., Kyparisis, J., and lp, C. (1996): Project selection with discounted returns and multiple constraints, *European Journal of Operational Research*, Vol. 94, pp. 87 – 96.

[4] Heidenberger, K. and Stummer, C. (1999): Research and development project selection and resources allocation: a review of quantitative modelling approaches, *International Journal of Management Reviews*, Vol. 1 (2), pp. 197 – 224.

[5] Martino, J.P. (1995), R&D Project Selection, Wiley & Sons, New York, NY.

[6] Markowitz, H. (1952): Portfolio Selection, *The Journal of Finance*, Vol. 7 (1), pp. 77 – 91.

[7] International Project Management Association (2003): ICB - IPMA Competence Baseline: National Competence Baseline Version 3.0, https://www.gpm-ima.de/fileadmin/user_upload/Qualifizierung___Zertifizierung/Zertifikate_fuer_PM/National_Competence_Baseline_R09_NCB3_V05.pdf; Download am 22.07.2016.

[8} Kreter, S., Rieck, J., Zimmermann, J. (2016): Models and solution procedures for the resource-constrained project scheduling problem with general temporal constraints and calendars, *European Journal of Operational Research*, Vol. 251 (2), pp. 387 – 403.

[9] Wiesemann, W., Kuhn, D., Rustem, B. (2010): Maximizing the net present value of a project under uncertainty, *European Journal of Operational Research*, Vol. 202 (2), pp. 356 – 367.

[10] Brucker, P., Drexl, A., Möhring, R., Neumann, K., Pesch, E. (1999): Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*, Vol. 112, pp. 3 – 41.

[11] Jahr, M. (2014): A Hybrid Approach to Quantitative Software Project Scheduling Within Agile Frameworks, *Project Management Journal*, Vol. 45 (3), pp. 1 – 11.

[12] Eppen, GD (1979): Effects of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem, *Management Science*, Vol. 25(5), pp. 498 – 501.

[13] Steinrücke, M., Jahr, M. (2012):Tactical planning in supply chain networks with customer oriented single sourcing. *International Journal of Logistics Management*, Vol. 23(2), pp. 259 – 279.

Anhang

GAMS Code zur Beispielrechnung:

```
***Projektprogrammbildung***

sets

P /p1*p5/

J /j1*j2/

;

variables

Z

;

positive variables

muprog

sigmaprog

varprog

;

binary variable

x(p)

;

parameter

R/0.30/

mu(p) /

p1 100

p2 200

p3 300

p4 400

p5 500/
```

```
K(p)/
p1 90
p2 120
p3 150
p4 120
p5 200/
sigma(p)/
p1 50
p2 100
p3 150
p4 200
p5 250/
L(j)/
j1 30
j2 100/
B/400/
;
table
a(j,p)
        p1     p2     p3     p4     p5
j1      5      5      5      5      15
j2      10     10     10     10     10
;
equations
ZF
NB1(j)
NB2
```

```
NB3

NB4

NB5

NB6

NB7

NB8

;

ZF..     Z =E= sum((p), (mu(p)-K(p))*x(p));

NB1(j).. sum((p), a(j,p)*x(p)) =L= L(j);

NB2..    sum((p), K(p)*x(p)) =L= B;

NB3..    sum((p), x(p)) =G= 0;

NB4..    sum((p), x(p)) =L= 10;

NB5..    sum((p), mu(p)*x(p)) =E= muprog;

NB6..    sum((p), (sigma(p)*sigma(p))*x(p)) =E= varprog;

NB7..    sqrt(varprog) =E= sigmaprog;

NB8..    sigmaprog =L= R*muprog;

***Solverauswahl***

model Modell /all/ ;

option minlp=baron;

solve Modell using minlp maximizing Z;
```