

Entwicklung von Projektplänen – Human Competitiveness einer evolutionären Metaheuristik

Sven TACKENBERG, Sönke DUCKWITZ, Christopher M. SCHLICK

*Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

Kurzfassung: Für ein ressourcenbeschränktes Planungsproblem – *Ressource-Constrained Project Scheduling Problem* – wurden die von einer evolutionären Metaheuristik erzeugten Lösungen hinsichtlich Human Competitiveness bewertet. Ferner analysiert der Beitrag die von den Probanden intendierte und realisierte Gewichtung der zwei konfligierenden Ziele Dauer und Kosten bei der Planentwicklung. Die Ergebnisse zeigen, dass Probanden Pläne entwickeln, die überwiegend eine kurze Dauer der Leistungserbringung vorsehen. Erst durch den unterstützenden Einsatz eines Optimierungsverfahrens kann die Vielzahl an optimalen Plänen für ein mehrkriterielles Problem identifiziert werden, aus denen der Planer entsprechend seiner Präferenzen auswählen kann.

Schlüsselwörter: Planentwicklung, Projektmanagement, *RCPS*, Human Competitiveness, Optimierungsverfahren

1. Einleitung

Die Planung einer Leistungserbringung resultiert aus der Festlegung von arbeitsorganisatorischen Maßnahmen, der Berücksichtigung von unterschiedlichen Ausführungsbedingungen und konfligierenden Zielsetzungen (Scholl 2001). Durch das Entwickeln von Plänen erfolgt die Allokation von Aufgaben zu ausführenden Akteuren, das Festlegen der zeitlichen Abfolgen zwischen Aufgaben sowie die Definition der erforderlichen Handlungen. Somit liefert ein Plan für eine Leistungserbringung Antworten auf die Fragen, wie, was, wann und wo erfolgen soll. Hierdurch werden die Ziele und die Vorgehensweisen bzw. Handlungen transparent. Den Akteuren wird somit eine räumliche und zeitliche Orientierung gegeben, um Unsicherheiten zu verringern (Scholl 2001) und das kognitive System zu entlasten (Funke & Fritz 1995).

In der Literatur finden sich aber nur wenige empirische Studien zu den Auswirkungen von Softwarewerkzeugen bei der Entwicklung von Plänen für eine Leistungserbringung. So berücksichtigen beispielsweise Lechler (1997), Dvir und Lechler (2004) sowie Hyväri (2006) zwar den Einflussfaktor „Projektmanagementsoftware“ im Rahmen ihrer Analysen zu Projekterfolgskriterien. Es fehlt aber an empirisch abgesicherten Erkenntnissen, inwieweit Softwarewerkzeuge Pläne mit einer gleichen oder einer besseren Qualität als die von Menschen erzeugten Lösungen entwickeln können.

2. Modelle zur Beschreibung und Bewertung einer Planentwicklung

2.1 Prozess der Planentwicklung

Die Planung einer Leistungserbringung erfordert nach dem Modell von Funke und Glodowski (1990) verschiedene Kompetenzen, die je nach Aufgabe zu einer unterschiedlichen Beanspruchung beim Planenden führt. Im Folgenden wird sich ausschließlich auf die Phase der Planerstellung mit den fünf Teilleistungen beschränkt (Funke & Glodowski 1990):

- Erkennen von zeitlichen Abfolgen zwischen Aufgaben bzw. Handlungen
- Identifizieren der Randbedingungen in Form von zeitlichen, materiellen und personenindividuellen Voraussetzungen
- Strukturieren des Planungsproblems zur Bildung von Zwischenzielen und Lösungssegmenten
- Entwickeln von Alternativen zur situationsbezogenen Reaktion auf veränderte Randbedingungen
- Festlegen der der Auflösung bzw. des Detaillierungsgrades des Plans.

2.2 Human Competitiveness

Koza et al. (2005) verstehen unter *Human Competitiveness* im Zusammenhang mit Optimierungsverfahren die Relation des Wertzuwachses zwischen einer durch eine genetische Programmierung einer von einem Menschen erzeugten Lösung. Ein solcher Wertzuwachs wird durch das *Artificial-to-Intelligence Verhältnis (AI-Ratio)* gemessen (Koza et al. 2008). Die Größe "I" beschreibt hierbei die vom Menschen auszuführenden Handlungen bzw. Entscheidungen, während das "A" die Schritte des Optimierungsverfahrens zur Problemlösung umfasst.

Eine Lösung eines Verfahrens ist als *Human Competitiveness* zu klassifizieren, falls dieses mit einer vom Menschen entwickelten Lösung wettbewerbsfähig ist (Koza et al. 2000). Dies ist der Fall, wenn mindestens eins der folgenden Kriterien erfüllt ist:

- Der Plan für ein längerfristig bestehendes Problem ist gleich gut oder besser als die von Menschen gefundene aktuelle Lösung.
- Der Plan löst ein Problem, das in der Operations Research Literatur von unumstrittener Schwierigkeit ist.
- Der Plan ist gegenüber einer vom Menschen oder von einem sich deterministisch verhaltenden Computerprogramm gefundenen Lösung zumindest gleichwertig.

3. Methodik

3.1 Planungsaufgabe

Die Planungsaufgabe ist ein Auszug aus einem vom Autor aufgenommenen Dienstleistungsprozess und entspricht einem *Multi-Skill Project Scheduling Problem (MSPSP)* (Li & Womer 2009). Ergänzend zu den erforderlichen Kompetenzen nach Funke und Glodowski (1990) resultieren aus der Planungsaufgabe die folgenden Anforderungen:

- Erkennen und Gewichten der konfligierenden Planungsziele – Kosten und Dauer der Leistungserbringung

- Festlegen des Bedarfs an Arbeitspersonen sowie deren Zuordnung (Anzahl, zu erfüllende Kompetenzniveaus) zu einzelnen Aufgaben
- Ermitteln des erforderlichen Zeitaufwands sowie der Zeitpunkte der Aufgabenbearbeitung

Von den Probanden erfordert die Planungsaufgabe, sich in die Rolle eines Geschäftsführers zu versetzen, der einen detaillierten Projektplan zu entwickeln hat. Dieser kann je nach ausgewählter Alternative elf oder 13 Aufgaben umfassen. Der Zeitaufwand für die nicht-unterbrechbare Aufgabenbearbeitung bestimmt sich aus der Allokation von Aufgaben zu Arbeitspersonen und deren Fertigkeiten und Fähigkeiten. Für das Planungsproblem sind die 14 optimalen, d.h. Pareto-effizienten Lösungen bekannt.

3.2 Vorgehen

Der Versuch wurde von 100 Probanden (m: 92, w: 8, 20 bis 27 Jahren) des Bachelorstudiengangs Maschinenwesen in einer Versuchsumgebung durchgeführt, die einen Büroarbeitsplatz nach EN ISO 9241 nachbildet. Für die Eingabe und Visualisierung des Plans wurde eine eigens für den Versuch entwickelte Projektmanagementsoftware genutzt. Diese orientiert sich hinsichtlich Funktion und Darstellung an den gängigen Eigenschaften moderner Projektmanagementsoftware.

Nachdem die Probanden über den Zweck der Untersuchung und die Funktionsweise der Software informiert worden waren, erhielten sie eine zu bearbeitende Übungsaufgabe, für die anschließend eine Lösung präsentiert wurde. In der Instruktion zur eigentlichen Planungsaufgabe wurden die Probanden vom Versuchsleiter darauf aufmerksam gemacht, dass ein Plan für eine Leistungserbringung zu entwickeln ist, der möglichst eine geringe Dauer und niedrige Kosten aufweist, es nicht um die Bearbeitungszeit geht und dass nur fehlerfreie Pläne vom Versuchsleiter abgenommen werden. Nach Klärung von Fragen durften die Versuchspersonen mit der Bearbeitung beginnen und die Erfassung der Bearbeitungszeit begann. Nach Meldung der Fertigstellung durch den Probanden, wurde der Plan vom Versuchsleiter kontrolliert. Wurde ein Fehler festgestellt, informierte der Versuchsleiter den Probanden darüber. Dieser hatte dann den Plan anzupassen, bis eine zulässige Lösung vorlag. In der abschließenden Nachbefragung wurden Selbsteinschätzungen zur Planung erfasst.

3.3 Design

Der Untersuchung liegt ein experimentelles Design in Form eines mehrfaktoriellen Versuchsplans zugrunde. Entsprechend der Fragestellung sollte eine mögliche Wirkung der unabhängigen Variablen auf die abhängigen Variablen statistisch geprüft werden. Unabhängige Variablen (*UV*) sind zum einen die Methode der Planentwicklung, mit den Gruppen

- Probanden (*P*)
- Simulationsmodell (Monte Carlo Simulation) nach Tackenberg (2016) – stochastische, ungerichtete Suche im Lösungsraum (*S*)
- Evolutionäre Metaheuristik – gerichtete Suche im Lösungsraum (*M*). Bei der verwendeten Metaheuristik (Tackenberg 2016) handelt es sich um die evolutionäre, mehrkriterielle Optimierungsheuristik für aktororientierte Modelle einer Leistungserbringung unter Unsicherheit.

und zum anderen die Selbsteinschätzung der Gewichtung der konfligierenden

Planungsziele. Als abhängige Variable wird die Qualität der entwickelten Pläne erfasst:

- Zuverlässigkeit (Z)
 - Optimalität der Erfüllung der Planungsziele (O)
- und die objektiv vorgenommene Gewichtung der Planungsziele erfasst. Im Fokus dieses Beitrags stehen daher die folgenden beiden Fragestellungen:
- *Lässt sich eine Human Competitiveness der von einer evolutionären Metaheuristik entwickelten Pläne statistisch signifikant nachweisen?*
 - *Wie gehen Probanden mit konfligierenden Planungszielen um?*

4. Ergebnisse

Die von den drei Gruppen (P , S , M) für die Planungsaufgabe entwickelten Pläne werden hinsichtlich der Erfüllung der beiden Planungsziele „Dauer“ und „Kosten“ der Leistungserbringung bewertet. Die Vergleichbarkeit der drei Gruppen wird durch das Heranziehen der mittleren Bearbeitungszeit der Probanden (28,77 Min.) sowie der kürzesten Bearbeitungszeit eines Probanden (16,01 Min.), der eine optimale Lösung identifiziert hat, hergestellt. Als Metrik für die Bewertung der Erfüllung der Planungsziele durch P , S , M wird die Euklidische Distanz und das dominanzbasierte Hypervolumen einer Lösung herangezogen:

- *Euklidischer Abstand*: Im zweidimensionalen Zielraum beschreibt das Maß den kleinsten Abstand zwischen der Dauer und den Kosten eines Plans und einer bekannten optimalen Lösung:

$$d_j = \min \left\{ d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^K \left(\frac{f_k^{(i)} - f_k^{(j)}}{f_k^{(max)} - f_k^{(min)}} \right)^2} \right\}$$

- *Dominanzbasiertes Hypervolumen* (Beume et al. 2008): Das primäre Bewertungskriterium ist die Einteilung der Population in dominanz- und nicht-dominanzbasierte Lösungen. Aus dieser Ordnung lässt sich die Anzahl an Plänen ableiten, die eine Lösung dominieren. Existieren mehrere Pläne mit dem gleichen Dominanzwert, wird als sekundäres, nachgelagertes Kriterium das von der Lösung gebildete Hypervolumen herangezogen.

In Abbildung 1 (links) sind die Zielfunktionsvektoren (Dauer, Kosten) der Probanden dargestellt. Jeder Eintrag repräsentiert einen zulässigen Plan für die Leistungserbringung, der zu dieser Dauer und den entsprechenden Kosten führt. Ebenfalls ergibt sich aus der Abbildung die Häufigkeit, mit der die Probanden eine spezifische Dauer-Kosten-Kombination identifiziert haben. Die mit dem Kruskal-Wallis-Test durchgeführte Varianzanalyse liefert für die beiden Referenzzeiten (28,77 Min., 16,01 Min.) einen signifikanten Effekt (s. Tabelle 1). Die Unterschiede zwischen den drei Gruppen werden post hoc durch den Mann-Whitney-U-Test mit einem adjustierten Alpha-Niveau nach der Bonferroni-Holm Methode ($\alpha = 0,05$) bestätigt (28,77 Min.):

- P, S : $U = 119108,50$, $z = -13,888$, $p < 0,001$
- P, M : $U = 557,50$, $z = -8,480$, $p < 0,001$
- S, M : $U = 272,00$, $z = -12,571$, $p < 0,001$

Auch die graphische Verortung der Zielfunktionsvektoren im Zielraum weist die gute Approximation der Pareto-effizienten, d.h. die optimalen Pläne durch M nach. So haben die 100 Probanden nur sieben der 14 optimalen Pläne identifiziert.

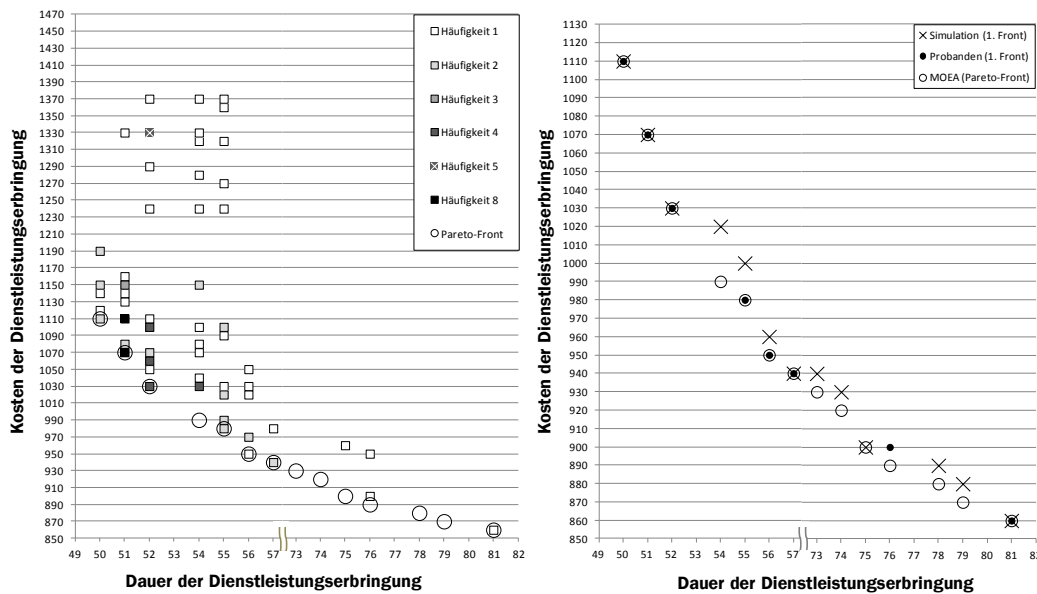


Abbildung 1: Von den Probanden und der Metaheuristik identifizierte Zielfunktionsvektoren (links), Identifizierte 1. Front je Gruppe (rechts) (Tackenberg 2016)

Das stochastische Simulationsmodell entwickelt in den beiden vorgegebenen Zeiträumen (16,01 Min und 28,77 Min) drei bzw. sechs optimale Lösungen. Bei einer simultanen Betrachtung der Vektoren der besten Lösungen aller drei Gruppen im Zielraum, wird die schwache Dominanz der Lösungen von *M* gegenüber *S* und *P* offensichtlich. Hierbei führt *S* gegenüber *P* zu einer höheren Diversität der Lösungen und auch diese Front liegt näher an den Lösungen von *M*. Nach den Kriterien von Koza et al. (2000) sind daher die entwickelten Pläne als *Human Competitive* zu bewerten, da *M* ein längerfristig in der Operations Research Literatur als von unumstrittener Schwierigkeit beschriebenes Problem gleich gut oder besser als *P* löst. Der Wert, der sich aus der Nutzung der evolutionären Metaheuristik ergibt, ist der *AI-Ratio* und entspricht der Differenz der Box Plots in Abbildung 2 (links).

Die von *P* entwickelten Pläne werden weitergehend hinsichtlich ihrer Lage im Zielraum bewertet. Die gebildeten Cluster repräsentieren die vorrangig bei der Planentwicklung vorgenommene Gewichtung der Ziele „Kosten“ und „Dauer“:

- Dominierende Gewichtung der „Dauer“
- Dominierende Gewichtung der „Kosten“
- Ausgewogene Gewichtung der beiden Ziele
- Keine in Richtung von PFWahr vorgenommene Gewichtung

Der Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung der vorgenommenen Gewichtung und die beobachtete Verortung im Zielraum sind in Abbildung 2 (rechts) und verneint somit einen Zusammenhang zwischen der intendierten und der

Tabelle 1: Effekte für die Optimalität der Pläne der drei Gruppen

Metrik	Baseline	χ^2	df	p	Mittlerer Rang		
					P	S	M
Euklidische Distanz	28,77 Min.	349,154	2	< 0,001	1289,01	6254,73	42,65
	16,01 Min.	351,823	2	< 0,001	790,95	2697,21	45,94
Rang	28,77 Min.	386,728	2	< 0,001	825,84	6258,51	45,99
	16,01 Min.	389,005	2	< 0,001	523,67	3700,69	44,47

realisierten Gewichtung der Ziele. Demnach weisen die ersten Ergebnisse der Studie nach, dass es für Menschen bereits bei einer ressourcenbeschränkten Planungsaufgabe mit 15 Aufgaben und zwei Zielen nur bedingt möglich ist, einen dargestellt. Der X^2 -Test nach Fisher ergibt $X^2(1, N = 99) = 3,613$, $p = 0,417$, $df = 4$ Plan entsprechend der eigenen Zielsetzung zu entwickeln. So zeigen die Daten, dass die angestrebte Minimierung der Kosten einer Leistungserbringung oftmals zu Lasten der Dienstleistungsdauer geht, bzw. Probanden nicht in der Lage sind, eine gleichmäßige Gewichtung mehrerer Ziele vorzunehmen.

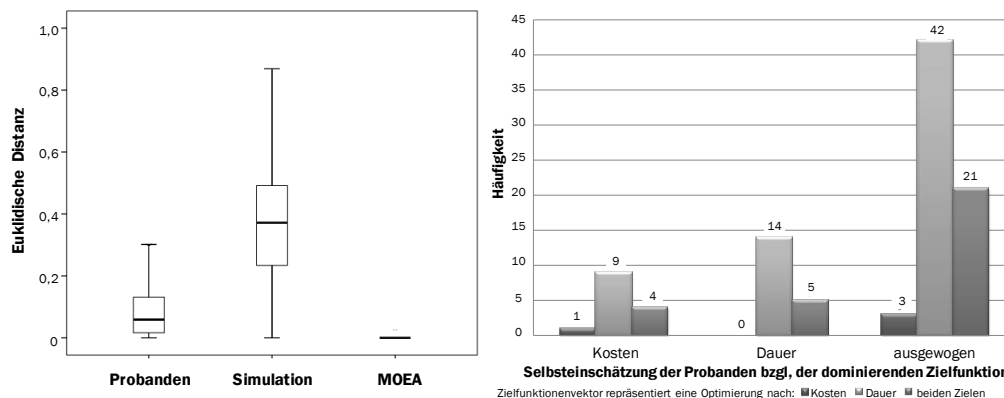


Abbildung 2: Optimalität der Pläne für die drei Gruppen bei 28,77 Min. (links) Selbsteinschätzung und realisierte Gewichtung der Zielfunktionen (rechts) (Tackenberg 2016)

6. Literatur

- Beume N, Naujoks, B, Rudolph G (2008) SMS-EMOA – Effektive evolutionäre Mehrzieloptimierung. at – Automatisierungstechnik 56 (7):357-364.
- Dvir D, Lechler T (2004) Plans are nothing, changing plans is everything: the impact of changes on project success. Research Policy 33 (1):1-15.
- Funke J, Glodowski, A-S (1990) Planen und Problemlösen: Überlegungen zur neuropsychologischen Diagnostik von Basiskompetenzen beim Planen. Zeitschrift für Neuropsychologie 2:139-148.
- Funke J, Fritz A (1995) Über Planen, Problemlösen und Handeln. In: Funke J (Hrsg.) Neue Konzepte und Instrumente zur Planungsdiagnostik. Bonn: Dt. Psychologen-Verl., 1-45.
- Hyväri I (2006) Project management effectiveness in project-oriented business organizations. International Management of Project Management 24 (3):216-225.
- Koza J R, Keane M A, Jessen Y, Forrest B H III, Mydlowec W (2000) Automatic Creation of Human-Competitive Programs and Controllers by Means of Genetic Programming. Genetic Programming and Evolvable Machines 1:121-164.
- Koza J R, Keane M A, Lanza G, Mydlowec W, Streeter M J, Yu J (2005) Genetic Programming IV. Routine Human-Competitive Machine Intelligence. New York: Springer.
- Koza J R, Streeter M J, Keane M A (2008) Routine high-return human-competitive automated problem-solving by means of genetic programming. Information Sciences 178 (23):4434-4452.
- Lechler T (1997) Erfolgsfaktoren des Projektmanagements. Frankfurt am Main: Lang.
- Li H, Womer K (2009) Scheduling projects with multi-skilled personnel by a hybrid MILP/CP benders decomposition algorithm. Journal of Scheduling 12:281-298.
- Scholl A (2001) Robuste Planung und Optimierung. Grundlagen – Konzepte und Methoden – experimentelle Untersuchungen. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Tackenberg S (2016) Konzeption und Entwicklung einer mehrkriteriellen evolutionären Metaheuristik zur Planung wissensintensiver Dienstleistungen. Aachen: Shaker.

Danksagung: Die Ergebnisse entstanden im Rahmen des Verbundprojektes "Wissensintensive industrielle Dienstleistungen weltweit produktiv erbringen - WiDiPro". Das Projekt wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ: 01FL10011), Projektträgerschaft: DLR.