

Zeitliche Einflussfaktoren auf die Fertigstellung von Bauprojekten – Ein Status Quo aktueller Forschungsschwerpunkte

Svenja Oprach, Maximilian Budau

Svenja Oprach, Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Deutschland

Maximilian Budau, Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Deutschland

Kurzfassung

Eine erfolgreiche Projektdurchführung ist von zahlreichen Einflussfaktoren abhängig. Gegenstand zahlreicher Forschungsstudien ist daher die Analyse und Bewertung dieser Faktoren mit dem Ziel, Prognosen in zukünftigen Bauprojekten durchführen zu können. Um für diese Faktoren ein Übersichtmodell zu erstellen, ist das Ziel dieser Veröffentlichung die Erstellung eines Klassifizierungssystems bzw. einer Taxonomie. Dieses beinhaltet die Priorität, Preis, Produkt, Platzierung, Personen und Partner, Prozesse sowie Problem-Lösung. In einer englisch-sprachigen Literaturrecherche wurden die Einflussfaktoren selektiert, in die Taxonomie eingeordnet und nach Anzahl der Nennungen ausgewertet. Weiter wurden aktuelle Forschungsmethoden zur Bewertung dieser Faktoren identifiziert. Besonders häufig wurden qualitative und stochastische Verfahren angewendet. Die Anzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren verdeutlicht die Komplexität der Terminplanung und ebenfalls der Dokumentation relevanter Faktoren. Hierfür sind Methoden, die über qualitative und stochastische Verfahren hinausragen, notwendig.

Inhalt

1	Einleitung	220
1.1	Motivation	220
1.2	Zielsetzung	220
2	Literaturrecherche	220
3	Taxonomie zeitlicher Einflussfaktoren im Bauwesen: Das 7P-Framework.....	222
3.1	Allgemeine Taxonomien für Einflussfaktoren	222
3.2	Auswertung des 7P-Frameworks	224
4	Taxonomie zur Modellierung zeitlicher Einflussfaktoren	225
4.1	Identifizierte Vorgehensweisen	225
4.2	Auswertung der identifizierten Vorgehensweisen.....	227
5	Schlussfolgerung.....	229
	Literatur.....	230

1 Einleitung

1.1 Motivation

Eine erfolgreiche Projektdurchführung ist von zahlreichen Einflüssen und deren Ausprägungen abhängig (Magnussen et al. 2006; Walker 1995; Flyvbjerg et al. 2002; Potts et al. 2005). Die Planung erfolgt oft Monate oder Jahre vor der eigentlichen Realisierung der jeweiligen Projektphase und muss daher viele Unsicherheiten betrachten. In der Regel führt dies zu unzuverlässigen Terminplänen (Magnussen et al. 2006, S.288; Potts et al. 2005). Eine fehlerhafte Terminplanung kann insbesondere bei Terminüberschreitungen die Kosten und Qualität des Produktes beeinflussen. Die Kunden sind aufgrund der fehlenden Zielerreichung unzufrieden.

Trotz der geringen Informationsdichte zu Beginn eines Projekts und der hohen Komplexität in einer frühen Planungsphase besteht für Bauherren und deren Auftragnehmer das Ziel, möglichst valide Aussagen über Termine und potenzielle Prozessinhalte zu treffen. Ein umfassender Überblick über zeitliche Einflussfaktoren auf die Fertigstellung von Bauprojekten fehlt derzeit.

1.2 Zielsetzung

In diesem Beitrag werden in der Retrospektive wiederkehrende Eigenschaften und Merkmale auf die Erfüllung von Terminplänen untersucht, um hieraus Thesen zu zeitlichen Einflussfaktoren abzuleiten. Durch eine entsprechende Kategorisierung dieser Einflussfaktoren kann die Entscheidungsfindung unterstützt werden. Weiter sollen mögliche Methoden und Modelle analysiert werden, um mit deren Hilfe die identifizierten Einflussfaktoren auf deren Relevanz hin zu bewerten.

2 Literaturrecherche

Mit Hilfe einer Literaturrecherche wird relevante Literatur im englischsprachigen Raum gefiltert und analysiert. Die Literaturrecherche erfolgt in vier Phasen (siehe Abbildung 2.1).

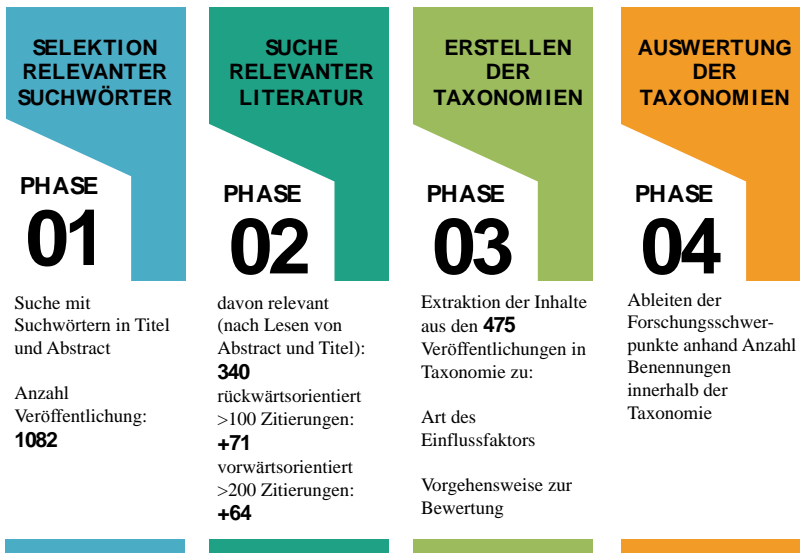


Abbildung 2.1: Vorgehensweise zur Literaturrecherche in vier Phasen. (eigene Abbildung)

Phase 1: Selektion relevanter Suchwörter

Zur Sichtung der relevanten Literatur wird eine Kombination von drei Suchwörtern gewählt. Die Suchwörter sind: „Construction“ und („project“ oder „time“) und („forecast“ oder performance“ oder „duration“ oder „causes of delay“ oder „engineering“ oder „planning“ oder „formation“ oder „influence factor“). Über verschiedene Suchseiten mit 90 gefilterten Journals wird durch die Suchwörter in Titel und Kurzzusammenfassung (Abstract) nach Veröffentlichungen gesucht. Insgesamt hat diese Suche 1082 Veröffentlichungen ergeben.

Phase 2: Suche relevanter Literatur

Danach wird durch ein Lesen der Kurzzusammenfassung die Literatur nach Relevanz gefiltert. Veröffentlichungen, die nicht bauspezifisch sind oder sich nicht mit zeitlichen Prognosen befassen, werden aus der Veröffentlichungsliste herausgefiltert und nicht weiter betrachtet. Somit hat sich die

Literaturliste auf 340 Veröffentlichungen reduziert. Diese wird durch eine vorwärts- und rückwärtsorientierte Suche erweitert. Bei der rückwärtsorientierten Suche werden Veröffentlichungen mit mehr als 100 Zitierungen weitere 71 verwendete Referenzen aufgenommen. Innerhalb der vorwärtsgerichteten Literaturrecherche werden Veröffentlichungen mit mehr als 200 Zitierungen 64 weitere zur Liste hinzugefügt. Die Anzahl der Zitierungen werden nach Nennungen des „Web of Science“ ermittelt. Die finale Literaturliste hat somit 475 relevante Veröffentlichungen ergeben. Diese Liste ist nicht vollständig, kann jedoch als Referenz betrachtet werden.

Phase 3: Erstellen zweier Taxonomien

In Phase 3 werden zwei Taxonomien erstellt, um die analysierten Einflussfaktoren zu kategorisieren (Kapitel 3) sowie Vorgehensweisen zur Bewertung zu identifizieren (Kapitel 4). Entsprechend der beiden Taxonomien werden Inhalte aus den gefilterten Veröffentlichungen extrahiert und aufgenommen.

Phase 4: Auswertung aktueller Forschungsschwerpunkte

Im letzten Schritt werden die extrahierten Informationen in die jeweiligen Taxonomien einsortiert, um Schwerpunkte deuten und Implikationen für weitere Forschungen ableiten zu können. Bei der Abfrage von möglichen Einflussfaktoren wurden jeweils die fünf am höchsten bewerteten Einflussfaktoren gewählt.

3 Taxonomie zeitlicher Einflussfaktoren im Bauwesen: Das 7P-Framework

3.1 Allgemeine Taxonomien für Einflussfaktoren

Kumaraswamy (2002, S.25), Herbsman und Ellis (1990, S.52), Abd El-Karin et. al (2017, S.204) und Nasirzadeh (2013, S.906) stellen in ihren Veröffentlichungen Übersichten von zeitlichen Einflussfaktoren im Bauwesen zusammen. Die von ihnen identifizierten Einflussfaktoren zeigen zum Teil Gemeinsamkeiten, unterscheiden sich jedoch auch in gewissen Punk-

ten. Daraus ergibt sich das Ziel einer allgemeinen Taxonomie, in welche alle zeitlichen Einflussfaktoren eingeordnet werden können.

Angelehnt an dem 7P-Framework des Marketings (Booms and Bitner, 1981) sowie und dem 4P-Framework von Liker (2004) die folgenden sieben Kategorien für eine Erstellung einer Taxonomie bauspezifischer Einflussfaktoren gewählt (siehe Abbildung 3.1):

- [1] **Priorität:** Priorisierung des Projektes durch verschiedenen Kundengruppen
- [2] **Preis:** Kosten, Investorenprojekt/Eigeninvest, Bezahlungsrhythmus abgeschlossener Arbeiten, Gehalt, Angebotsart
- [3] **Platzierung:** Geografische Verortung, Marktwirtschaft, Nationale Gesetze, zuständige Behörde, verfügbare Baufläche, Erdbeschaffenheit
- [4] **Produkt:** Neubau/Umbau, Projektart, Brutto-Geschoss-Fläche (BGF), Anzahl Geschosse, Bauwerkshöhe, Anteil vertikal/horizontal, Komplexität, Kompaktheit, Modularität, Typ der Gründung/Rohbaus/Fassade,
- [5] **Personen und Partner:** Privat/öffentlich, Reputation, Größe der Firmen (Mitarbeiter), Anzahl Bieter, Anzahl Bauleiter, Erfahrungen, Fähigkeiten, Unterstützung durch den Bauherren, Risikoverhalten, Führungsverständnis, Stakeholder Management, Beziehungen zwischen Projektbeteiligtengruppen
- [6] **Prozess:** Anzahl Feedbackschleifen, Management Informationsfluss, Kommunikation, Produktivität, Arbeitswoche, Lieferfähigkeit, Ressourcen (Material, Maschinen), Methode, Arbeitsbedingungen, Detaillierung der Planung, Verständnis der Bauweise/technische Machbarkeit, Lean Construction, Verwendung von Informationstechnologie, Vertragsmanagement, Bieterprozess, Qualität vorgelagerter Prozesse, Baustellensicherheit, Flexibilität
- [7] **Problem-Lösung:** Geschwindigkeit von Entscheidungen, Anzahl Änderungsanträge, Nacharbeit, Wetter, Konflikte

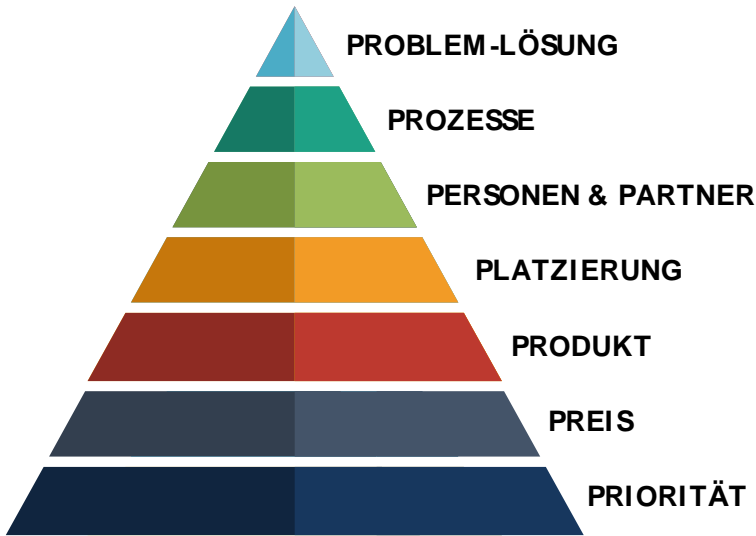
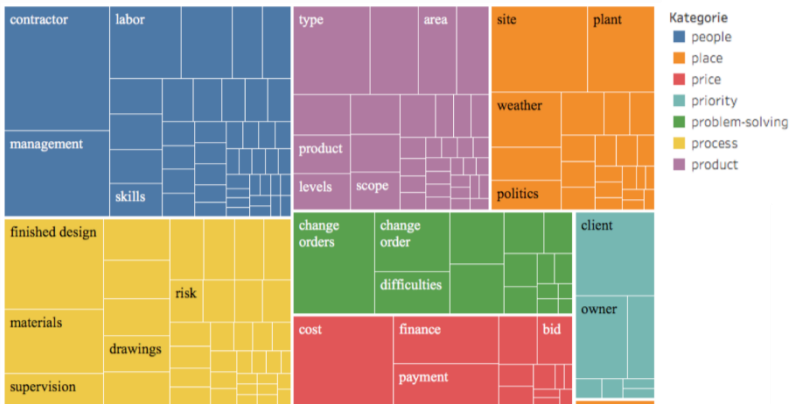


Abbildung 3.1: 7P-Framework baspezifischer Einflussfaktoren. (eigene Abbildung in Anlehnung an Booms und Bitner 1981, Liker 2004)

3.2 Auswertung des 7P-Frameworks

Aus den in Kapitel 2 identifizierten Literaturquellen wurden die Einflussfaktoren aus der Kurzzusammenfassung selektiert und in eine Datei übertragen. Diese Liste mit Einflussfaktoren wurde mit Hilfe von RapidMiner ausgewertet. RapidMiner ist eine Software zum maschinellen Lernen und Data-Mining. Hier wurden mit Hilfe von algorithmischen Bausteinen des Text Minings einzelne Wörter extrahiert und nach ihrer Häufigkeit analysiert. Diese Ergebnisliste wurde mit Tableau visualisiert (siehe Abbildung 3.2). Tableau wird zur Datenvisualisierung und zum Reporting verwendet. Auf Basis der Anzahl der Nennungen werden in der Abbildung 3.2 die Kästchen skaliert. Zu erkennen ist, dass die Kategorien aus Personen (engl. „people“, blaue Markierung) und Prozesse („eng. „process“, gelbe Markierung) die häufigsten Nennungen finden. Die Priorisierung durch den Kunden wird in den analysierten Veröffentlichungen am seltensten genannt.



Name, Farbe zeigt Details zu Kategorie an. Größe zeigt Summe von Anzahl Benennungen an. Die Markierungen werden nach Name beschriftet.

Abbildung 3.2: Auswertung des 7P-Frameworks auf Basis der Literaturrecherche mit RapidMiner und Tableau (eigene Abbildung)

Zu beachten ist weiter, dass der Großteil der identifizierten Forschung sich lediglich auf die Phase der Bauausführungszeit bezieht. 78% (267) der Veröffentlichungen beziehen sich auf die Bauausführung, 16% (55) auf die Gesamtprojektlaufzeit, 6% (16) auf weitere einzelne Phasen, wie den Einkaufsprozess. Hierbei wurden die betrachteten Phasen nur dokumentiert, wenn diese eindeutig aus der Kurzzusammenfassung erkennbar war. Da in Bauprojekten zahlreiche Wirkungsketten bestehen und somit Abhängigkeiten zwischen den Kategorien vorhanden sind, ist eine ganzheitliche Betrachtung der Einzelphasen sinnvoll.

4 Taxonomie zur Modellierung zeitlicher Einflussfaktoren

4.1 Identifizierte Vorgehensweisen

In zahlreichen Modellen werden für die Prognose von Terminen zur Fertigstellung von Bauwerken Projekteigenschaften verwendet. Insgesamt konnten dabei drei Vorgehensweisen identifiziert werden: qualitative Methoden,

Verfahren der Stochastik sowie Soft Computing. Diese Methoden werden dafür verwendet, die Projekteigenschaften hinsichtlich ihrer Relevanz zu analysieren und eine Bauzeitenschätzung zu generieren. Hierzu zählen beispielhaft statistische Regressionen (Chou et al. 2009, Wang et al. 2010), neuronale Netzwerke (Wang et al 2010, Hola et al. 2010), Fuzzy-Logiken (Jaśkowski et al. 2010) oder genetische Algorithmen (Rogalska et al. 2008).

Qualitative Aufnahme durch den „Relative Importance Index“ (RII)

Mit Hilfe des RII werden in der Retrospektive durch eine empirische Auswertung Faktoren nach ihrer Bedeutung gewichtet und in eine Rangfolge gebracht. Aus dem RII sind keine direkten Prognosen ableitbar, lediglich die Relevanz einzelner Faktoren wird subjektiv verdeutlicht (z.B. Kometa et. al 1994). Bei der Auswertung ist weiter zu erkennen, dass mit Hilfe des RII vorrangig die Kategorien zu Personen und Prozessen aufgenommen wurden. Dies liegt daran, dass Merkmale dieser Kategorien vor allem qualitativ sind und eine quantitative Bewertung nur mit der Erstellung einer ordinalen Skala möglich wird.

Verfahren der Stochastik

In multivariaten Regressionsmodellen werden Korrelationen zwischen historischen Daten und dem Zielfaktor Zeit gebildet, um Schätzungen für neue Bauprojekte durchführen zu können. Somit wird die Abhängigkeit und Relevanz mathematisch definiert (z.B. Englehart 1936). Eine weitere Form stochastischer Verfahren können Monte-Carlo-Simulationen sein. Durch eine große Anzahl gleicher Zufallsexperimente wird dabei mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie ein schwer lösbares Problem gelöst.

Soft Computing

Unter „Soft Computing“ (häufig verwendetes Synonym „Computational Intelligence“) versteht man Modelle, welche versuchen, schwer berechenbare Probleme approximativ zu lösen. Die hierunter fallenden Modelle können gewissermaßen „lernen“ und eine Vielzahl von Einflussfaktoren betrachten. Teilgebiete des Soft Computing sind „Fuzzy-Systeme“, „Data Mining“,

„künstliche neuronale Netze“, „evolutionäre Algorithmen“ und „genetische Algorithmen“.

Fuzzy-Systeme wurden im Jahre 1965 durch den iranischen Systemtheoretiker Lotfi Zadeh erfunden (Zadeh 1965). Sie dienen der Modellierung komplexer Systeme mit einer Akzeptanz der Unschärfe, bei der auch Zwischengrößen zwischen 0 und 1 (bzw. wahr und falsch) möglich sind. Die Unschärfe wird durch sprachliche Schlussfolgerungen und Aussagen modelliert.

Dem Ziel, komplexe Datenstrukturen effizient auszuwerten und die Mechanismen dahinter verstehen zu können, dienen die Methoden des **Data Mining** mit der Bildung von Assoziationen, Regressionen und Clustering. Beispielhafte Methoden sind Support-Vector-Machines, Random-Forests oder Gradient Boost Trees.

Künstliche Neuronale Netze (KNN) vereinfachen und modellieren die Informationsverarbeitung im Gehirn und Nervensystem. Mit Hilfe von KNN werden innerhalb von Datenstrukturen Muster erkannt und vervollständigt. Anhand von Beispielen lernt und vereinfacht der Algorithmus. (Russell et al. 2012, S. 845 - 856)

Evolutionäre Algorithmen (EA) / Genetische Algorithmen (GA) lernen anhand evolutionärer Einflussfaktoren, wie Mutation, Rekombination, Selektion, Isolation, Epigenetik oder Mutation.

Andere naturanaloge Verfahren sind Partikelschwarmoptimierung (PSO) und Ant Colony Optimization (ACO).

4.2 Auswertung der identifizierten Vorgehensweisen

Abbildung 4.1 zeigt die Auswertung der in der Literatur identifizierten Vorgehensweisen. Hierbei wurden die eindeutig identifizierbaren Methoden dokumentiert und nach der Anzahl ihrer Nennungen verglichen. Zu erkennen ist, dass der Forschungsschwerpunkt auf den qualitativen und stochastischen Methoden liegt.

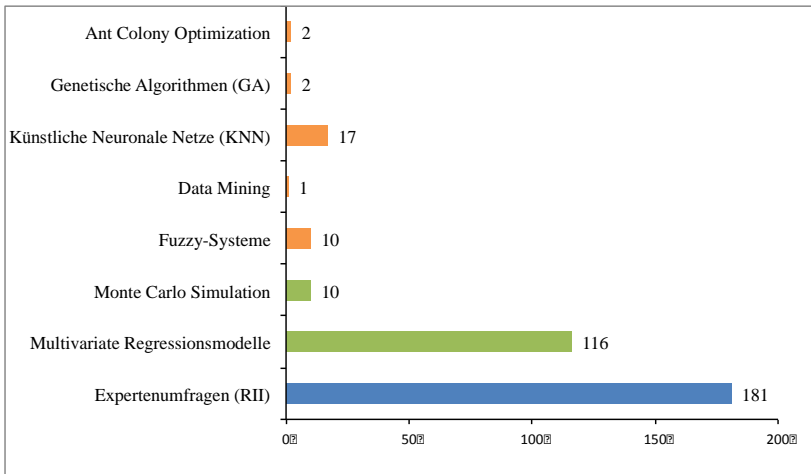


Abbildung 4.1: Auswertung der aktuellen Vorgehensweisen zur Bewertung der Einflussfaktoren auf Basis der Literaturrecherche (eigene Abbildung)

Wie am 7P-Framework zu sehen ist, ist die Anzahl der möglichen Einflussfaktoren sehr groß und eine mathematische Modellierung, wie mit multivariaten Regressionsmodellen, daher lediglich stark vereinfacht möglich. Eines der ersten Modelle für eine Bauzeitenschätzung wurde 1969 durch den australischen Forscher Bromilow entwickelt (Bromilow 1969). Dieses Modell verwendet als Datengrundlage die Kosten, die durch den Bauherrn bezahlt werden, eine allgemeine Projektperformance, die länderspezifisch zu definieren ist, sowie einen Faktor, der die Abhängigkeit der Zeit zu den Kosten angibt. Auf dem Modell von Bromilow aufbauend wurden weitere Mehrfaktoren-Modelle erstellt (Chan et al. 1995, Hoffmann et al. 2007, Ifran et al. 2011). Zeitschätzungsmodelle mit dem Faktor Kosten als Basis sind jedoch am weitesten verbreitet. Viele Fallbeispiele zeigen durch ihre Fehlkalkulationen, dass die Kosten nur einen geringen Anteil an der Prognosegenauigkeit der Zeit haben (Magnussen et al. 2006, Potts 2005, Walker 1995, Flyvberg et al. 2002). Modelle des Soft Computing könnten diese Schwächen reduzieren.

5 Schlussfolgerung

Zahlreiche Faktoren und Merkmale haben Einfluss auf die Terminplanung eines Bauprojektes. Die daraus resultierende Komplexität erschwert eine valide Terminplanung. Aus diesem Grund ist die Analyse dieser Einflussfaktoren Gegenstand vieler Untersuchungen. Im Rahmen dieser Veröffentlichung wurden anhand einer umfangreichen Literaturrecherche in vier Phasen Einflussfaktoren gesammelt und in einer Taxonomie kategorisiert. Durch ein Aufzeigen relevanter Einflussfaktoren und Bewertung dieser kann die Entscheidungsfindung unterstützt werden.

Das entwickelte 7P-Framework bauspezifischer Einflussfaktoren verdeutlicht die Vielfalt der Einflüsse. Es gliedert die Einflussfaktoren in die Kategorien: Priorität, Preis, Platzierung, Produkt, Personen, Prozesse und Problem-Lösung. Es zeigt sich ein Schwerpunkt im Bereich Personen und Prozesse. Weiter wurde eine Taxonomie zu aktuellen Vorgehensweisen erstellt. Es wurden die drei Kategorien: qualitative Methoden, stochastische Vorgehensweisen und Methoden des Soft Computing identifiziert. Forschungsschwerpunkt liegt auf den zwei zuerst genannten Methoden. Zuletzt wurde eine Konzentration auf der Phase der Bauausführung identifiziert.

Um die Vielzahl der Einflussfaktoren zu betrachten und zu analysieren (siehe Kapitel 3), wurde ein vertiefender Forschungsbedarf im Bereich des Soft Computing (siehe Kapitel 4) aufgezeigt.

Literatur

- Booms, B.H.; Bitner, M.J. (1981): Marketing strategies and organization structures for service firms". In: Donnelly, J./George W. R. (Hrsg.): Marketing of Services Chicago: AMA, S. 47-51.
- Bromilow, FJ. (1969): Contract time performance expectations and the reality. In: Building Forum, Vol. 1, Nr. 3, S. 70 - 80.
- Chan, D.; Kumaraswamy M. (1995): A study of the factors affecting construction durations in Hong Kong. In: Construction Management and Economics, Vol. 13, Nr. 4, S. 319 - 333.
- Chou, J.S. (2009): Generalized linear model-based expert system for estimating the cost of transportation projects. In: Expert Systems with Applications, Vol. 36, Nr. 3, Part 1, S. 4253–4267.
- Gray, D.; Brown S.; Macanufu J. (2011): Gamestorming. O'Reilly Media Germany, Sebastopol.
- El-Karim, M.; El Nawawy, O.; Abdel-Alim, A. (2017): Identification and assessment of risk factors affecting construction projects. In: HBRC Journal, Vol. 13, Nr. 2, S. 202 - 216.
- Englehart, M. D. (1936): The technique of path coefficients. In: Psychometrika, Vol. 1, Nr. 4, S. 287 - 293.
- Nasirzadeh, F.; Nojedehi, P. (2013): Dynamic modeling of labor productivity in construction projects. In: International Journal of Project Management, Vol. 31, Nr. 6, S. 903 -911.
- Flyvbjerg, B.; Holm, M.S.; Buhl, S. (2002): Underestimating cost in public works projects: error or lie? In: Journal of the American Planning Association, Vol. 68, Nr. 3, S. 279 - 295.
- Herbsman, Z.; Ellis, R. (1990): Research of factors influencing construction productivity. In: Construction Management and Economics, S. 49 - 61.
- Hoffman, G.J; Thal, A.E.; Webb, T.S.; Weir, J.D. (2007): Estimating performance time for construction projects. In: Journal of Management in Engineering, ASCE23(4), S. 193 - 199.

- Ifran, M.; Khursid, M.B.; Anastasopoulos, P.; Labi, S.; Moavenzadeh, F. (2011): Planning-stage estimation of highway project duration on the basis of anticipated project cost, project type, and contract type. In: *International Journal of Project Management* Vol. 29, Nr. 1, S. 78 - 92.
- Jaśkowski, P.; Biruk, S.; Bucoń, R. (2010): Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment. In: *Automation in Construction*, Vol. 19, Nr. 2, S. 120 - 126.
- Kometa, S.; Olomolaiye, P., Harris, F. (1994): Attributes of UK construction clients influencing project consultants performance. In: *Construction Management and Economics*, Vol. 12, S. 433 - 43.
- Kumaraswamy, M. (1996): Contractor evaluation and selection: a Hong Kong perspective. In: *Building and Environment*, Vol. 31, Nr. 3, S. 273 - 282.
- Liker, J., 2004: *The Toyota Way, 14 management principles from the world greatest manufacturer*. NY: Mc-Graw Hill.
- Magnussen, O.M.; Olsson, N.O.E. (2006): Comparative analysis of cost estimates of major public investment projects. In: *International Journal of Project Management*, Vol. 24, S. 281 - 288.
- Potts, K. (2005): *The New Scottish Parliament Building—a critical examination of the lessons to be learned*, In: *Proceedings of the Third International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-III)*, Athens, 15-17 September, 2005, S. 534 - 539.
- Rogalska, M.; Bożejko, W.; Hejducki, Z. (2008): Time/cost optimization using hybrid evolutionary algorithm in construction project scheduling. In: *Automation in Construction*, Vol. 18, Nr. 1, S. 24 - 31.
- Russell, S.; Norvig, P. (2012): *Künstliche Intelligenz – Ein moderner Ansatz*. 3. Auflage; Pearson Studium, München.
- Walker, D.H.T. (1995): An investigation into construction time performance. In: *Construction Management and Economics*, Vol. 13, S. 263 - 274.

Wang, Y.-R.; Gibson Jr., G.E. (2010): A study of pre project planning and project success using ANNs and regression models. In: Automation in Construction, Vol. 19, Nr. 3, S. 341 - 346.

Zadeh, L. A. (1965): Fuzzy Sets, Information and Control. Vol. 8, Nr. 3, S. 338 -352.