

Zusammenfassung der Promotionsschrift

**Methoden zur Quantifizierung und Optimierung der Robustheit von
Bauablaufplänen**

verfasst von

Dipl.-Ing. Veronika Hartmann

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

An der Fakultät Bauingenieurwesen

der Bauhaus-Universität Weimar

Mentor: Prof. Dr.-Ing. Kay Smarsly

Status der Doktorandin: Intern

Weimar, 30.06.2020

Problemstellung

1. Bei der Realisierung von Bauprojekten kommt der Bauablaufplanung eine wichtige Rolle zu. Bauablaufpläne dienen der Koordination von Schnittstellen und als Grundlage für die individuelle Planung aller am Projekt Beteiligten.
2. Bei der Erstellung von Bauablaufplänen müssen verschiedene Randbedingungen berücksichtigt werden. Technische Randbedingungen erfordern bei der Ausführung einiger Arbeiten die Einhaltung einer bestimmten Reihenfolge. Ressourcenbedingte Randbedingungen stellen sicher, dass zu keinem Zeitpunkt mehr Ressourcen benötigt werden, als vorhanden sind.
3. Konkrete Termine sind eine wichtige Voraussetzung für die Koordinierung verschiedener Gewerke. Deshalb werden Bauablaufpläne als deterministische Terminpläne erstellt, indem Prozessdauern als feststehend angenommen werden.
4. Zahlreiche Informationen über Randbedingungen, die den Ablauf eines Bauprojektes beeinflussen, wie Wetterbedingungen oder Kenntnisse über Lieferschwierigkeiten, werden erst im Moment der Realisierung oder mit nur geringer Vorlaufzeit bekannt.
5. Aufgrund der langen Vorlaufzeiten bei der Planung von Großprojekten können viele Daten, die der Ablaufplanung zugrunde liegen, deshalb nur geschätzt werden und sind mit Unsicherheiten behaftet.
6. Bauablaufpläne werden ohne Berücksichtigung der Unsicherheiten als deterministische Pläne erstellt und sind deshalb häufig unzuverlässig. Als Folge davon werden Vorgaben zu Terminen, Kosten und Qualität oft nicht eingehalten.

Zielsetzung der Arbeit

7. Durch die Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Bauablaufplanung sollen zuverlässige Terminpläne erzeugt werden.
8. Da Änderungen während der Realisierungsphase nicht auszuschließen sind, müssen zuverlässige Terminpläne in der Lage sein, ein gewisses Maß an Änderungen zu absorbieren. Solche Pläne werden in dieser Arbeit als „robust“ bezeichnet.
9. Eine Beurteilung der Fähigkeit eines Ablaufs, Änderungen zu absorbieren, soll auf der Grundlage einer Abschätzung möglicher Änderungen und daraus folgender Abweichungen erfolgen.
10. Für eine solche Abschätzung müssen die vorhandenen Unsicherheiten erfasst und mathematisch abgebildet werden.
11. Für die Ermittlung der Abweichungen muss definiert werden, welcher Aspekt eines Terminplans auf Abweichungen hin zu überprüfen ist und wie die Abweichungen quantifiziert werden können.
12. Für einen Vergleich von verschiedenen Abläufen ist eine Beurteilung der Abweichungen in Bezug auf die geplanten Werte von Interesse.
13. Ein Robustheitsmaß ist als geeignetes Maß zur Bewertung des Verhaltens von Abläufen bei Planänderungen, ausgehend von den ermittelten Abweichungen, zu entwickeln.
14. Ein Verfahren zur Erzeugung von Abläufen, die nach dem entwickelten Robustheitsmaß als „robust“ bewertet werden, ist zu erarbeiten.

Stand der Wissenschaft

15. Ausgehend davon, ob die Prozessdauern als diskrete Werte oder als stochastische Verteilungen definiert werden, wird zwischen deterministischer und stochastischer Projektplanung unterschieden. Eine weitere Unterteilung in Problemtypen erfolgt in Abhängigkeit davon, inwieweit vorhandene Ressourcen als in ihrer Kapazität begrenzt angesehen werden und ob Ausführungsvarianten für Aktivitäten berücksichtigt werden.
16. Es existieren verschiedene Verfahren zur Optimierung deterministischer Terminpläne bezüglich der Minimierung ihrer Gesamtdauer. Dieses Vorgehen ist auch im Bauwesen üblich, führt jedoch zu unzuverlässigen Terminplänen, da die zugrunde liegenden Daten auf Schätzungen beruhen und mit Unsicherheiten behaftet sind.
17. In der stochastischen Projektplanung werden Unsicherheiten mit den Verfahren der reaktiven oder proaktiven Planung berücksichtigt.
18. Bei einer reaktiven Planung werden die Entscheidungsprozesse in die Realisierungsphase verlegt. Ein solches Vorgehen ist für das Bauwesen nicht anwendbar, da ein konkreter Terminplan für die Koordination aller Beteiligten erforderlich ist.
19. Sinnvoll ist eine proaktive Planung, die einen konkreten, möglichst robusten Terminplan zur Verfügung stellt. Den Ansätzen der proaktiven Planung liegen verschiedene Definitionen des Verständnisses von Robustheit zugrunde, die allerdings nicht ohne Weiteres auf die Erfordernisse der Bauablaufplanung übertragbar sind.
20. Ansätze zur Bewertung der Robustheit zielen üblicherweise auf die Minimierung der Gesamtdauer ab oder sie betrachten die Verschiebung von Start- oder Endterminen. Dabei wird nicht berücksichtigt, wie sich die tatsächlichen Termine oder Gesamtdauern in Bezug auf die geplanten Werte verhalten.
21. Ansätze, die ein über alle möglichen Situationen gemitteltes Verhalten bewerten, erfassen nicht die Besonderheit der Bauablaufplanung, wonach ein geplanter Ablauf im Allgemeinen nur einmal ausgeführt wird. Ansätze, die dagegen extreme Situationen zur Bewertung der Robustheit heranziehen, erlauben keine Berücksichtigung der individuellen Risikobereitschaft der Verantwortlichen.

Eingesetzte Methoden

22. Entsprechend der Kategorisierung von Scheduling-Problemen aus der Literatur werden Bauablaufpläne als Probleme mit begrenzten Ressourcen und Ausführungsalternativen eingeordnet. Ausführungsalternativen beschreiben alternative Bauverfahren oder eine Abhängigkeit zwischen Ressourcenbedarf und Prozessdauer. Da Bauablaufpläne konkrete Termine angeben sollen, gleichzeitig die zugrunde liegenden Daten aber mit Unsicherheiten behaftet sind, ist sowohl das deterministische als auch das stochastische Problem von Interesse.
23. Für die Definition von Terminplänen ausgehend von Informationen zu Aktivitäten und Randbedingungen wird ein sogenanntes Schedule Generation Scheme verwendet.
24. Für ein Problem mit begrenzten Ressourcenkapazitäten und Ausführungsalternativen existieren verschiedene Terminpläne, die alle Randbedingungen erfüllen. Die Abläufe unterscheiden sich in der Reihenfolge von Aktivitäten und in der Wahl der Ausführungsvarianten.

25. Um zu berücksichtigen, dass Bauablaufpläne auf Annahmen und geschätzten Datenwerten basieren, werden variable Prozessdauern berücksichtigt und stochastisch beschrieben. Mögliche Verlängerungen der Prozessdauern werden durch Halbnormalverteilungen abgebildet und die Auswirkungen auf den Ablauf in einer Monte-Carlo-Simulation ermittelt.
26. Für die Interpretation der Simulationsergebnisse werden verschiedene charakteristische Werte zur Beschreibung von Häufigkeitsverteilungen untersucht. Es wird ein Robustheitsmaß erarbeitet, das die tatsächliche Gesamtdauer in Bezug auf die geplante Dauer betrachtet und die Risikobereitschaft der Verantwortlichen individuell berücksichtigt.
27. Mithilfe eines Optimierungsalgorithmus wird aus der Menge verschiedener Abläufe ein robuster Ablauf bestimmt. Hierfür wird ein Genetischer Algorithmus an das Problem adaptiert und mithilfe des erarbeiteten Robustheitsmaßes als Zielfunktion des Optimierungsalgorithmus werden robuste Terminpläne erzeugt.

Wesentliche Ergebnisse

28. In dieser Arbeit wird ein Maß für die Bewertung der Robustheit von Bauablaufplänen entwickelt. Bei einem robusten Plan soll das Verhältnis der tatsächlichen zur geplanten Gesamtdauer möglichst klein sein. Dadurch wird berücksichtigt, dass realisierte Projektdauern an den geplanten Dauern gemessen werden.
29. Mithilfe eines Genetischen Algorithmus und der Verwendung des erarbeiteten Robustheitsmaßes als Zielfunktion werden robuste Terminpläne erzeugt. Eine Verbesserung der Robustheit auf Kosten einer unkontrollierten Verlängerung der Gesamtdauer wird durch die Begrenzung der geplanten Gesamtdauer verhindert.
30. Die Anwendung des Verfahrens auf ein Beispiel zeigt, dass für Abläufe, die als unterschiedlich robust bewertet werden, die zugehörigen Terminpläne strukturelle Unterschiede aufweisen, die die Bewertung untermauern.
31. In einer Monte-Carlo-Simulation von Abläufen mit veränderlichen Prozessdauern können sogenannte Graham-Anomalien auftreten, die sich darin äußern, dass die Verlängerung einer Prozessdauer eine Verkürzung der Gesamtdauer zur Folge hat. Die bekannte Strategie zur Verhinderung dieser Anomalien führt im betrachteten Kontext zu unerwünschten Nebeneffekten, die wiederum durch eine Anpassung der Strategie verhindert werden.
32. Aufgrund begrenzter Ressourcenkapazitäten entstehen Situationen, in denen zwei Aktivitäten um eine Ressource konkurrieren. Die Auflösung solcher Ressourcenkonflikte ist für die Verbesserung der Robustheit von Abläufen von Interesse. Ein dementsprechend entwickelter Mutationsoperator als Teil des Genetischen Algorithmus beeinflusst den Verlauf der Optimierung positiv.
33. Für die Optimierung von Bauabläufen bezüglich ihrer Robustheit ist die Berücksichtigung von Ausführungsalternativen für Aktivitäten wichtig. Bei weitgehend manueller Eingabe der notwendigen Daten ist dies kaum möglich und die Kombination einer robusten Bauablaufplanung mit BIM-Modellen für eine automatische Ermittlung und Verwaltung von Aktivitäten mit alternativen Prozessen kann hier als möglicher weiterführender Forschungsansatz identifiziert werden.