



# ANFORDERUNGS- UND POTENZIALANALYSE ZUR ETABLIERUNG BAUBETRIEBLICHER SIMULATIONSANWENDUNGEN IM HOCHBAU

F. Geppert<sup>1</sup>, H. C. Jünger<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Baubetriebslehre, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

E-Mail: [fabian.geppert@ibl.uni-stuttgart.de](mailto:fabian.geppert@ibl.uni-stuttgart.de), [hans\\_christian.juenger@ibl.uni-stuttgart.de](mailto:hans_christian.juenger@ibl.uni-stuttgart.de)

## Kurzfassung

Trotz zahlreicher Forschungsinitiativen werden Simulationswerkzeuge in der Baupraxis nur in geringem Maße genutzt. Im Rahmen des Beitrags werden die Diskrepanz zwischen Forschung und Praxis sowie die Hemmnisse bei der Implementierung und Anwendung von simulationsgestützten Bauablaufplanungen analysiert. Die Anforderungen an baubetriebliche Simulationsanwendungen werden unter Berücksichtigung des Stands der Technik dargelegt und durch die Evaluierung am Markt etablierter Softwarelösungen näher untersucht. Abschließend wird der Handlungsbedarf für die weitergehende Etablierung simulationsgestützter Bauablaufplanungen im Hochbau aufgezeigt und eine übergeordnete Einordnung vorgenommen.

## Abstract

Despite numerous research initiatives, simulation tools are only used to a limited extent in construction practice. The paper analyses the discrepancy between research and practice as well as the obstacles in the implementation and application of simulation-based construction process planning. The requirements for construction simulation applications will be presented taking into account the state of technology and examined through the functional evaluation of selected software solutions. Finally, the need for action for the establishment of simulation-based construction scheduling is shown and a general evaluation is made.

## Einleitung

Angesichts des Erfolgs in anderen Industriesektoren versprechen Simulationsansätze in der Baupraxis im Rahmen der Termin- und Fertigungsplanung (auch Arbeitsvorbereitung genannt) große Mehrwerte. (Mayer et al., 2020, S. 2 ff.) Bauabläufe werden nach wie vor meist mittels konventioneller Verfahren geplant und in einen Terminplan überführt, wodurch benötigte Informationen in der Planungs- und Ausführungsphase nur unzureichend visualisiert, geprüft und nicht bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden können. Unterdessen können Bauprojekte häufig nicht innerhalb des geplanten Zeit-

und Kostenrahmens fertiggestellt werden, wobei die Termin- und Bauablaufplanung oft Ausgangspunkt für Konflikte zwischen den Projektbeteiligten ist. (Roquette et al., 2021; Klamert, 2013) Daher überrascht die geringe Anwendung und Verbreitung von Simulationswerkzeugen in der baubetrieblichen Praxis, insbesondere unter Berücksichtigung der bereits erfolgten Forschungsinitiativen und -arbeiten der letzten Jahrzehnte. (Bargstädt, 2008; Bargstädt, 2010; AbouRizk, 2010; Franz, 2011; Scherer et al., 2012; König et al., 2015; Bügler & Borrmann, 2016; Bokor, 2019; Borrmann & Jahr, 2019; Gnerlich, 2019, S. 53 ff.) Die geringe Verbreitung von Simulationswerkzeugen in der Baupraxis wird in den zuvor genannten Forschungsarbeiten bestätigt. Ziel muss es daher sein, die Potenziale digitaler Werkzeuge, wie bspw. Simulationsanwendungen in der Baupraxis nutzbar zu machen, um termin- und kostengerechte Projektabwicklungen zu ermöglichen, Produktivitätssteigerungen zu vollziehen und das Konfliktpotenzial zwischen den Projektbeteiligten nachhaltig zu senken. (Hofstadler, 2019, S. 836) Voraussetzung zur Erreichung dieses Ziels ist die Analyse der Ausgangssituation, woraus die nachfolgende Forschungsfrage resultiert: Welche Diskrepanz besteht bei der Bauablaufplanung im Hochbau zwischen dem Stand der Forschung und der Baupraxis und worauf kann diese zurückgeführt werden? Hiervon ausgehend wird ein qualitatives Forschungsdesign zur Untersuchung des Stands der Praxis mittels Experteninterviews gewählt. Ergänzend werden Terminplanungsprogramme hinsichtlich ihrer Funktionalität und Eignung zur modell- und simulationsgestützten Bauablaufplanung untersucht und ein Vergleich zur literaturgestützten Recherche des Forschungsstands gezogen. (vgl. Abb. 1)

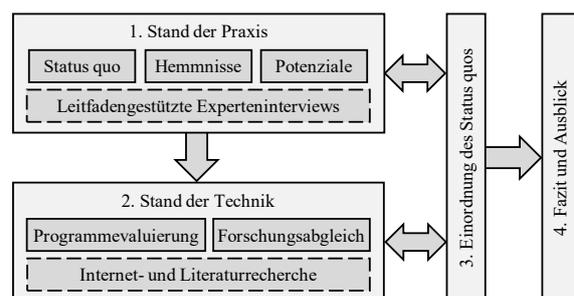


Abbildung 1: Struktur des Konferenzbeitrags

## Abgrenzung der Bauablaufplanung

Die betrachtete Thematik adressiert Baubetriebe und Bauinformatiker gleichermaßen, wodurch sich die eindeutige Definition und Abgrenzung der nachfolgenden Begrifflichkeiten empfiehlt:

- Fertigungsplanung und Bauablaufplanung
- Digitale Bauablaufplanung
- Modellgestützte Bauablaufplanung
- Simulationsgestützte Bauablaufplanung

Die Fertigungsplanung beinhaltet die detaillierte Vorausplanung und Optimierung des Bauablaufs durch das ausführende Unternehmen. Im Zuge der Fertigungsplanung erfolgt die Auswahl des wirtschaftlichsten Bauverfahrens sowie die Planung des Bauablaufs, des Ressourceneinsatzes und der Baustelleneinrichtung. (Berner et. al., 2022, S. 27) Als wesentlicher Teil der Fertigungsplanung dient die Bauablaufplanung der Ermittlung und Darstellung der zeitlichen Abfolge von Arbeitsvorgängen, der Feststellung und Darstellung von logischen Abhängigkeiten der Arbeitsvorgänge, der Bauzeitermittlung sowie der Bauablaufoptimierung hinsichtlich Zeit und Ressourcen. (Hofstadler, 2014, S. 521) Nachfolgend wird die ausführungsseitige Terminplanung mit der Bauablaufplanung gleichgesetzt. Bei der Durchführung von Bauablaufplanungen kann auf verschiedene Methoden und Hilfsmittel zurückgegriffen werden. Zur Differenzierung dieser Methoden sowie zur Definition relevanter Reifegrade wird zwischen digitaler, modellgestützter und simulationsgestützter Bauablaufplanung unterschieden und diesbezügliche Begriffsdefinitionen von den Verfassern eingeführt.

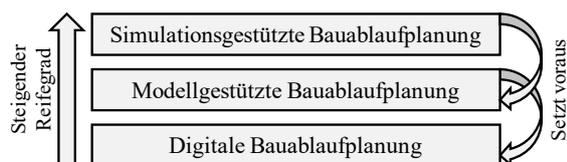


Abbildung 2: Reifegrade der Bauablaufplanung

Die digitale Bauablaufplanung setzt den Einsatz von Softwarelösungen für die vorgenannten Teilaufgaben voraus. (Berner et. al., 2022, S. 79) Dies ist beispielsweise bei dem Einsatz einfacher Terminplanungsprogramme gegeben. Der modellgestützten Bauablaufplanung wird zusätzlich die Nutzung eines Bauwerksinformationsmodells zugrunde gelegt. (Borrmann et. al., 2021, S. 7) Dieses wird im Rahmen der modellgestützten Bauablaufplanung mit zeit- und terminbezogenen Informationen verknüpft, wodurch eine Bauablaufanimation vollzogen werden kann. (Tulke & Schumann, 2021, S. 399) Die 4D-Animation der Bauwerksentstehung vereinfacht das Verständnis der anvisierten Bauprozesse und das Erkennen von

Planungsdefiziten. Ebenso kann das Bauwerksinformationsmodell als Daten- und Informationsgrundlage für zahlreiche, nutzbringende Anwendungsfälle im Zuge der Fertigungsplanung dienen (Borrmann et. al., 2021, S. 7). Unter einer simulationsgestützten Bauablaufplanung wird das gezielte Testen, Auswerten und Optimieren von Bauverfahren, Ablaufvarianten und des Ressourceneinsatzes durch die Nachbildung von Ausführungsprozessen in virtueller Umgebung verstanden. (Gnerlich, 2019, S. 44) Die zugrundeliegende Methodik im Kontext der Bauablaufsimulation ist oft ereignisdiskret und schließt unter anderem constraint-basierte sowie agentenbasierte Entwicklungsansätze ein. (Gnerlich, 2019, S. 44; König, 2015, S. 12)

## Stand der Praxis

Die verschiedenen Reifegrade der Bauablaufplanung verdeutlichen die Bedeutung eines erforderlichen Mindestdigitalisierungsgrades als Voraussetzung für eine mehrwertstiftende Anwendung baubetrieblicher Simulationswerkzeuge. Für die Darlegung des Status quos in der Baupraxis wird daher nachfolgend auf ausgewählte Studien und Erhebungen zur Digitalisierung in der Bauindustrie eingegangen.

### Digitalisierungsgrad der Bauindustrie

Regelmäßig wird der deutschen Baubranche in praxisorientierten Studien und Erhebungen ein im Branchenvergleich geringer Digitalisierungsgrad bescheinigt. (BMWK, 2022, S. 8; o. V., 2021) Die langsame digitale Transformation der Bauindustrie wird auch im internationalen Kontext bestätigt. (Wu & AbouRizk, 2021; Koelemann, 2019) Aktuelle umfragebasierte Erhebungen identifizieren großen Nachholbedarf aufseiten der Bauindustrie beim Einsatz digitaler Lösungen. (Berner et. al., 2021, S. 9) Weitergehend schätzen in gleicher Erhebung 77 % der Befragten die Potenziale im Bereich „Simulation & Visualisierung“ als groß und 40 % der Befragten ihre Fähigkeiten in diesem Bereich als stark ein. (Berner et. al., 2021, S. 10) Die fehlende Differenzierung zwischen Simulation und Visualisierung lässt jedoch nur bedingt belastbare Rückschlüsse auf übergeordnete Reifegrade bei der Bauablaufplanung zu. Der insgesamt niedrige Digitalisierungsgrad deutet vielmehr auf eine geringe Verbreitung baubetrieblicher Simulationswerkzeuge. So werden in der Praxis bei der Terminplanung sowie zur Klärung baurechtlicher Fragestellungen überwiegend Netzplan-basierte Anwendungen mit Hilfe von gängiger Projektmanagement-Software berechnet. (Gnerlich, 2019, S. 5)

### Leitfadengestützte Experteninterviews

Zur detaillierten Untersuchung des Status quos der Praxis sowie der Hemmnisse und Potenziale bei der modell- und simulationsgestützten Bauablaufplanung wurden für den Konferenzbeitrag acht

leitfadengestützte Experteninterviews mit insgesamt zehn Teilnehmenden durchgeführt. Die Durchführung der Interviews erfolgte auf Basis des Handbuchs „Methoden der empirischen Sozialforschung“ (Helferlich, 2019, S. 669 ff.) Als Interviewpartner wurden Experten der umsatzstärksten deutschen Bauunternehmen aus übergeordneten Abteilungen der Forschung und Entwicklung angefragt. Die Auswahl der Interviewpartner wurde unter der Annahme getroffen, dass die umsatzstärksten deutschen Bauunternehmen die höchsten Reifegrade bei der Durchführung von Termin- und Bauablaufplanungen aufweisen. Diese Annahme kann durch die spezialisierten Organisationsstrukturen, Unternehmensentwicklungsabteilungen mit größerer Personalstärke und die höhere Investitionskraft für die Integration innovativer Werkzeuge begründet werden. Zusätzlich kann diese These durch den grundsätzlich höheren Digitalisierungsgrad größerer Unternehmen gestützt werden. (BMWK, 2022, S. 14) In Anlehnung an die formulierte Forschungsfrage gliederten sich die Interviews in die Kategorien gemäß Tabelle 1.

Tabelle 1: Leitfragen der Experteninterviews

	Leitfragen
Status quo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welche Softwarelösungen werden für die Durchführung von Termin- und Bauablaufplanungen in Ihrem Unternehmen verwendet?</li> <li>• Wovon ist die Wahl der Softwarelösung abhängig?</li> <li>• In welchem Maß erfolgt die Bauablaufplanung digital, modellgestützt oder simulationsbasiert?</li> <li>• Wie automatisiert erfolgt die Modellverknüpfung und Terminplangenerierung?</li> </ul>
Hemmnisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Können bei den verwendeten Softwarelösungen Defizite hinsichtlich Anwendungsfreundlichkeit und Funktionalität festgestellt werden? Falls ja, welche?</li> <li>• Welche weiteren Hemmnisse wurden bzw. werden von Ihnen bei der Integration und Anwendung simulationsgestützter Terminplanungsanwendungen wahrgenommen? Inwieweit können/konnten die Hemmnisse überwunden werden?</li> </ul>
Potenziale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welche zukünftigen Entwicklungen und Anwendungsfelder werden von Ihnen durch die Simulation und Automatisierung der Termin- und Bauablaufplanung kurz-, mittel- und langfristig erwartet?</li> <li>• Gab es bereits weitere Anwendungsfelder für baubetriebliche Simulationsanwendungen? Welche Erfahrungen konnten hierbei gemacht werden?</li> </ul>

### Status quo

In den befragten Unternehmen werden für die Durchführung der konventionellen Termin- und Bauablaufplanung im Hochbau überwiegend die Softwarelösungen MSProject und Asta Powerproject sowie vereinzelt Primavera verwendet. Bei BIM-basierten Projektabwicklungen wird bei der Terminplanung zusätzlich DESITE BIM sowie vereinzelt Synchro 4D, Navisworks und RIB iTWO eingesetzt. Einzelne Pilotprojekte wurden mit der Softwarelösung BEXEL Manager durchgeführt.

Die Wahl der Softwarelösung ist zumeist von persönlichen Präferenzen der Projektbeteiligten und der Projektleitung abhängig, kann aber auch durch

Bauherrnvorgaben beeinflusst werden. Eine zentrale, unternehmensinterne Vorgabe war bei der Mehrheit der Interviewpartner nicht der Fall.

Bezugnehmend auf den Reifegrad wird bei allen Interviewpartnern mindestens die digitale Termin- und Bauablaufplanung angewandt. Der Anteil von modellgestützten Bauablaufplanungen variiert je nach Interviewpartner zwischen Pilotprojektphase und unternehmensweiter Anwendung mit einem Projektanteil von ca. 50 %. Bei jenen Unternehmen mit höherem Anteil wird die Erstellung eines Bauwerksinformationsmodells in der Kalkulations- und Angebotsphase als wirtschaftliche Voraussetzung für die Durchführung modellgestützter Termin- und Bauablaufplanungen angesehen. Vollständig simulationsgestützte Bauablaufplanungen sind in der Praxis bislang kaum verbreitet und bei einzelnen Interviewpartnern in der Entwicklungsphase.

Damit eine differenziertere Einordnung der modellgestützten Arbeitsweise vorgenommen werden kann, gilt es den Automatisierungsgrad bei der BIM-basierten Terminplangenerierung zu betrachten. Die Verknüpfung zwischen einzelnen Elementen des Bauwerksinformationsmodells und Prozessvorgängen erfolgt derzeit gleichermaßen manuell und teilautomatisiert bzw. skriptbasiert. Die Art der Modellverknüpfung hängt hierbei von der Nutzbarkeit und Modellierung des Bauwerksinformationsmodells, der Projektgröße und der Detaillierungsstufe der Terminpläne ab. Einzig bei den derzeit laufenden, unternehmensinternen Entwicklungsprojekten wird eine vollautomatisierte Modellverknüpfung erprobt.

### Hemmnisse

#### Technologische Hemmnisse

Bei allen Interviewpartnern wurden technologische Hemmnisse bei den verwendeten Softwarelösungen in unterschiedlicher Ausprägung festgestellt. Eine detaillierte Betrachtung der dargelegten Punkte erfolgt im Rahmen der Funktionsauswertung im Stand der Technik. Eine allgemeingültige Aussage zum Zusammenhang zwischen Funktionalität und Anwendungsfreundlichkeit bei Softwarelösungen kann anhand der Interviewergebnisse nicht getroffen werden. Einzig bei Entwicklungsprojekten zur simulationsgestützten Bauablaufplanung wurde mit steigender Funktionalität eine sinkende Anwenderfreundlichkeit wahrgenommen.

Weitergehende Hemmnisse konnten bei der Simulationsgrundlage (geometrisches Bauwerksmodell, Prozessvorlagen, Datenbanken) festgestellt werden. Umso detaillierter die Termin- und Bauablaufplanung erfolgen soll, desto höher ist der Nachmodellierungsaufwand bei Bauwerksmodellen zur Durchführung einer adäquaten Bauablaufplanung bzw. zur Festlegung von Bau- und Taktabschnitten. Dieser Umstand verstärkt sich bei Modellen, welche vom Bauherrn bereitgestellt werden. Die Entwicklung

unternehmensinterner Prozessvorlagen, wurde in den letzten Jahren bei der Mehrheit der Interviewpartner vorangetrieben. Hier mangelt es eher an einer durchgängigen Verwendung. Auch der Aufbau und die Strukturierung von projektübergreifenden Datenbanken wurde bzw. wird vollzogen.

Programmschnittstellen wurden im Kontext von open BIM und der Terminplanaktualisierung bei stetiger Inhaltsbearbeitung von vielen Interviewpartnern als problematisch empfunden. Es werden regelmäßig Informationsverluste wahrgenommen. Ebenso ist die geometrische Modellbearbeitung nach IFC-basierter Übertragung nur bedingt möglich. Kritik wurde an dem Nichtvorhandensein von offiziell vorgegebenen Informationsstrukturen geäußert.

Die Abstimmung mit Softwareanbietern wird von den Interviewpartnern unterschiedlich eingeordnet. Die formulierten Belange werden aufgenommen, eine unmittelbare Funktionserweiterung der Software erfolgt aber in der Regel nicht. Oft wird auf offene Programmschnittstellen verwiesen, wodurch der Ausbau unternehmensinterner Zwischenlösungen verstärkt wird. Derartige Zwischenlösungen sind zumeist an individuelles Expertenwissen geknüpft und nach allgemeinen Softwareupdates anzupassen.

#### Organisatorische Hemmnisse

Fehlende Standardisierung wurde von der Mehrheit der Interviewpartner als ein Haupthemmnis identifiziert. Demnach sind Arbeitsweisen und die verwendeten Programme in den unterschiedlichen Organisationseinheiten sowie in Abhängigkeit von der Präferenz des jeweiligen Bearbeiters verschieden. Wenn eine Modellverknüpfung vollzogen wird, ist ein standardisiertes Vorgehen jedoch die Voraussetzung für eine (teil-)automatisierte Anwendung.

Der Aufbau von Expertenwissen und der damit einhergehende Schulungsbedarf werden ebenfalls als Hemmnis gesehen. Bei einer modellgestützten Arbeitsweise mit Simulationsbezug benötigen Anwender bei steigender Komplexität einschlägige IT-Kenntnisse. Zusätzlich erfolgt die Verknüpfung von Terminplan und Bauwerksinformationsmodell überwiegend in fachspezifischen BIM-Abteilungen, wodurch eine breitflächige Know-how-Verteilung nur bedingt gegeben ist. Für den Aufbau von Expertenwissen und die Schulung von Mitarbeitern muss darüber hinaus eine breite Akzeptanz aufseiten der Anwender vorhanden sein. Insbesondere Baupraktiker sind oft skeptisch gegenüber Simulationsanwendungen und den daraus generierten Informationen. Demgegenüber stehen aktuelle Erkenntnisse aus den Entwicklungsprojekten der Befragten, in denen die Simulationsergebnisse als realitätsnah bewertet werden konnten.

Die benötigte Interdisziplinarität zwischen Baubetrieb und Bauinformatik wird als weiterer Hemmnissfaktor angebracht. In dieser Hinsicht wird bei vielen

befragten Unternehmen der Aufbau interdisziplinärer Teams in Entwicklungsabteilungen gefördert. Ebenfalls wird die große Diskrepanz von IT-Kenntnissen bei Berufseinsteigern thematisiert.

#### Wirtschaftliche Hemmnisse

Ein Grund für die fehlende Akzeptanz in der Baupraxis gegenüber Simulationswerkzeugen sind bestehende Zweifel hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit. Bezugnehmend auf den Unikatcharakter von Bauwerken wird oft der vergleichsweise hohe Zeit- und Arbeitsaufwand bei der Simulationsdurchführung angeführt. Auch aufseiten der Interviewpartner konnte die Frage der Wirtschaftlichkeit von Simulationen noch nicht vollumfänglich beantwortet werden. In derzeit laufenden Entwicklungsprojekten überwiegt der Implementierungsaufwand. Die Investitionskosten der Implementierung stellen bei den Interviewpartnern mit Entwicklungsprojekten in Anbetracht der erwarteten Mehrwerte hingegen kein Hemmnis dar.

#### Potenziale

Die Potenziale baubetrieblicher Simulationen werden von den Interviewpartnern als groß eingeschätzt. Kurz- bis mittelfristig steht daher die Schaffung adäquater Simulationsvoraussetzungen im Fokus. Dies schließt die breitflächige Integration der modellgestützten Arbeitsweise, die Standardisierung von Terminplanungsprozessen und den Aufbau benötigter Vergleichsdatenbanken ein. Bei Schaffung geeigneter Voraussetzungen sollen Simulationstools als Assistenzsystem zur Entscheidungsfindung dienen. Die Überführung simulationsbasierter Ablaufpläne zur Prozesssteuerung als Grundlage für Takplanungen und Taktsteuerungen wird ebenfalls geprüft. Die Durchführung von Pilotprojekten soll die Realitätstreue von Simulationsergebnissen steigern und der Erprobung weiterer Anwendungsfelder dienen. Exemplarisch ist hierbei die Simulation bauleistungsbezogener Prozesse und die Verknüpfung mit automatisierten Baufortschrittserfassungen zu nennen. Wie schnell diese Entwicklungen vollzogen werden, hängt von der Überwindung der Hemmnisse ab, wobei in den vergangenen Jahren hier rückblickend keine nennenswerten Fortschritte erzielt wurden.

#### Stand der Technik

Die grundsätzliche technische Umsetzbarkeit baubetrieblicher Simulationsanwendungen wurde in zahlreichen Forschungsarbeiten für spezifische Anwendungsfälle der Bauablaufplanung bereits nachgewiesen. (Kugler, 2012; Beißert, 2012; Berner, 2013; Voigtmann, 2014; Samkari, 2014; Kordi, 2015; Gnerlich, 2019) Daher gilt es zunächst zu untersuchen, inwiefern die Anforderungen an simulationsgestützte Bauablaufplanungen durch in der Baupraxis gängige Projektmanagement-Software (Auswahl durch Experteninterviews) erfüllt werden können.



## Einordnung des Status quos

Bezugnehmend auf die eingangs formulierte Forschungsfrage lässt sich die Diskrepanz zwischen dem Stand der Forschung und der Baupraxis bei der Termin- und Bauablaufplanung durch Abbildung 3 zusammenfassen.

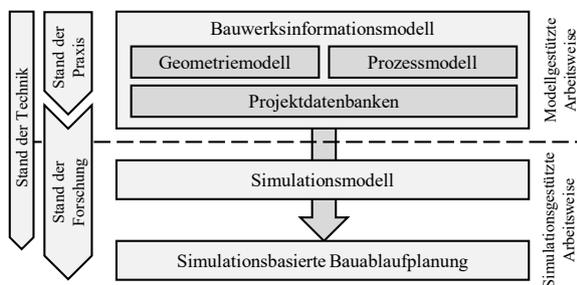


Abbildung 3: Abgleich der Kenntnisstände

Demnach haben entwickelte Forschungsansätze zur Bauablaufsimulation noch keinen breitflächigen Einzug in die baubetriebliche Praxis gefunden. Dies kann unter anderem mit dem Reifegrad der Termin- und Bauablaufplanung in der Baupraxis begründet werden. Zurückliegende Initiativen in der Baupraxis zielten vorwiegend auf die breitflächige Einführung der modellgestützten Arbeitsweise. (BMVI, 2015) Als Gründe für die Diskrepanz zwischen Baupraxis und Forschungsstand können zum einen die in den Experteninterviews dargelegten technologischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Hemmnisse angeführt werden. Insbesondere der vermeintlich hohe Zeitaufwand einer Simulation und der damit verbundene Lernaufwand auf Anwenderseite kann in diesem Kontext hervorgehoben werden. Zum anderen fehlt für eine mehrwertstiftende, simulationsgestützte Bauablaufplanung derzeit eine adäquate Simulations- und Datengrundlage. (Beißert, 2012, S. 144; Berner et. al., 2013, S. 96; Gnerlich, 2019, S. 400 f.) Diesem Umstand wird jedoch durch die Verbreitung der modellgestützten Arbeitsweise und die Verwendung mehrdimensionaler Bauwerksinformationsmodelle entgegengewirkt. Aktuell werden Bauwerksinformationsmodelle für die Terminplanung noch überwiegend durch netzplangestützte Softwarelösungen verarbeitet. Einzelne, marktgängige Programmlösungen weisen jedoch bereits die Funktionalität auf, um Teilanforderungen einer simulationsgestützten Bauablaufplanung zu erfüllen. Für eine breitflächige Integration der simulationsgestützten Arbeitsweise gilt es daher bei der Verarbeitung der stetig besser werdenden Daten- und Informationsgrundlage die netzplanbasierten Ansätze durch die entwickelten Simulationsmodelle der Forschung zu ergänzen und schrittweise für praktikable Anwendungsfälle zu ersetzen. Bei der Verbesserung der Qualität der Simulationsgrundlage kommt der baubegleitenden Datenerfassung ein besonderer Stellenwert zu. (König et. al. 2015; Gnerlich, 2019, S. 401)

## Fazit und Ausblick

Um baubetriebliche Simulationen in der Praxis zu etablieren, können Handlungsfelder aufseiten der Bauunternehmen, der Standardisierung, der Softwareanbieter, sowie der Lehreinrichtungen identifiziert werden. Mit der breitflächigen Einführung und Verbreitung der modellgestützten Arbeitsweise werden die Voraussetzungen für Simulationsanwendungen stetig verbessert. Aufseiten der Bauunternehmen gilt es die hieraus entstehende Datengrundlage auszubauen und auf den Informationsbedarf von Simulationswerkzeugen auszurichten. Ein besonderer Stellenwert kommt zudem der Überwindung von organisatorischen Hemmnissen zu. Die Erarbeitung und Festlegung von allgemeingültigen Standardisierungsvorgaben auf Unternehmens- und Branchenebene kann hierbei als wesentlicher Erfolgsfaktor identifiziert werden. Exemplarisch wird auf dahingehende Initiativen in Deutschland (Normungsroadmap BIM) sowie international (buildingSMART) verwiesen. Aufseiten der Softwareanbieter gilt es bestehende Ansätze aus der Forschung aufzugreifen und funktionale sowie nicht-funktionale Anforderungen in einen kundenorientierten Produktentwicklungsprozess einfließen zu lassen. Die Entwicklung und Umsetzung einer marktorientierten Systementwicklung gemäß Lean-Prinzipen ist hierfür die Voraussetzung. Dies gilt unabhängig von der zugrunde liegenden Simulationsmethodik. In der Ausbildung und Lehre kann eine stärkere Verzahnung von baubetrieblichen und bauinformatischen Kompetenzen als sinnvoll erachtet werden, um Digitalisierungsimpulse durch Berufseinsteiger zu fördern.

## Danksagung

Besonderer Dank gilt allen Interviewpartnern für die wertvollen Einblicke und Einschätzungen.

## Literatur

- AbouRizk, S. 2010. Role of Simulation in Construction Engineering and Management.
- Bargstädt, H.-J. (Hrsg.) 2008, Tag des Baubetriebs 2008 Tagungsbeiträge – Auf dem Weg zum digitalen (Bau-)haus-Bau – Forschungsworkshop zur Simulation von Bauprozessen. In: Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren Nr. 17, 2008.
- Bargstädt, H.-J. (Hrsg.) 2010, Tag des Baubetriebs 2010 Tagungsbeiträge – Modellierung von Prozessen zur Fertigung von Unikaten – Forschungsworkshop zur Simulation von Bauprozessen. In: Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren Nr. 19, 2010.
- Beißert, E. 2012, Constraint-basierte Simulation zur Terminplanung von Ausführungsprozessen – Repräsentation baubetrieblichen Wissens mittels Soft Constraints.

- Berbnar, R., Elsholz, C., Schüch, L., Hoffmann, S. M. 2021. Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Corona in der Bauindustrie – Eine PwC-Studie zum Umgang der Branche mit den drei aktuellen Herausforderungen.
- Berner, F., Habenicht, I., Kochkine, V., Spieckermann, S., Väh, C. 2013. Simulation in der Fertigungsplanung von Bauwerken. In: Bauingenieur Band 88, 2013.
- Berner, F., Kochendörfer, K., Schach, R., Jünger, H. C., Otto, J., Sundermeier, M. 2022. Grundlagen der Baubetriebslehre 2 – Baubetriebsplanung.
- BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur), 2015. Stufenplan Digitales Planen und Bauen.
- BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), 2022. Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland – Digitalisierungsindex 2021.
- Bokor, O., Florenz, L., Osborne, A., Gledson, B. J. 2019. Overview of construction simulation approaches to model construction processes. In: Organization, Technology and Management in Construction Band 11, 2019.
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. 2021. Die BIM-Methode im Überblick . In: Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (Hrsg.). Building Information Modeling, 2021.
- Borrmann, A., Jahr, K., 2019. BIMsite – BIM-based planning, simulation and monitoring of construction sites, <https://www.cms.bgu.tum.de/en/17-research-projects/88-bimsite-en>
- Bügler, M., Borrmann, A. 2016. Simulation Based Construction Project Schedule Optimization: An Overview on the State-of-the-Art. In: Civil and Environmental Engineering: Concepts, Methodologies, Tools and Applications, 2016.
- Franz, V. (Hrsg.) 2011. 2. IBW-Workshop, 24. März 2011 an der Universität Kassel Simulation von Unikatprozessen – Neue Anwendungen aus Forschung und Praxis.
- Gnerlich, R. 2019. Entwicklung eines Konzepts zur digitalen Untersuchung von Bauzeitverzögerungen auf Grundlage einer BIM-basierten Bauablaufsimulation.
- Helferlich, C. 2019. Leitfaden- und Experteninterviews. In: Baur, N., Blasius, J. (Hrsg.). Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung.
- Hofstadler, C. 2014. Produktivität im Baubetrieb.
- Hofstadler, C. 2019. Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht.
- Klamert, S. 2013. Ursachen erheblicher Kostenüberschreitungen im Hochbau: Ein Verfahrensmodell zur systematischen Verfolgung und Vermeidung.
- Kordi, B. 2015. Ansätze zur automatischen Terminplanung für Roh- und Ausbauarbeiten auf Basis der Integration von CAD- und Bauprozessmodellen
- Kugler, M. 2012. CAD-integrierte Modellierung von agentenbasierten Simulationsmodellen für die Bauablaufsimulation im Hochbau.
- Koeleman, J., Ribeirinho, M., Rockhill, D. Sjödin, E., Strube, G., 2019. Decoding digital transformation in construction.
- König, M., Rank, E., Bletzinger, K.-U., Borrmann, A., Smarsly, K., Huhnt, W. 2015. Aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen der Bauinformatik. In: Bauingenieur Band 90, 2015.
- Mayer, G., Pöge, C., Spieckermann, S., Wenzel, S. 2020. Ablaufsimulation in der Automobilindustrie.
- o. V. 2021. Digitalisierungsindex Mittelstand 2020/2021 – Der digitale Status quo im deutschen Baugewerbe.
- Roquette, A. J., Viehring, M., Leupertz, S. 2021. Handbuch Bauzeit.
- Samkari, K. 2014. Automatisierungsansätze zur Verbesserung der Simulation von Bauabläufen im Hochbau.
- Scherer, R. J., Tauscher, H., Schapke, S.-E., 2012. Mefisto: eine Modell-, Informations- und Wissensplattform für das Bauwesen : Tagungsband 2. Mefisto Kongress, 13. Oktober 2011, Dresden.
- Tulke, J., Schumann, R. 2021. BIM zur Unterstützung der ingenieurtechnischen Planung. In: Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (Hrsg.). Building Information Modeling, 2021.
- Voigtmann, J. 2014. Simulation bauleistungsprozesse.
- Wu, L., AbouRizk, S. 2021. Towards Construction's digital Future: A Roadmap for enhancing Data value.