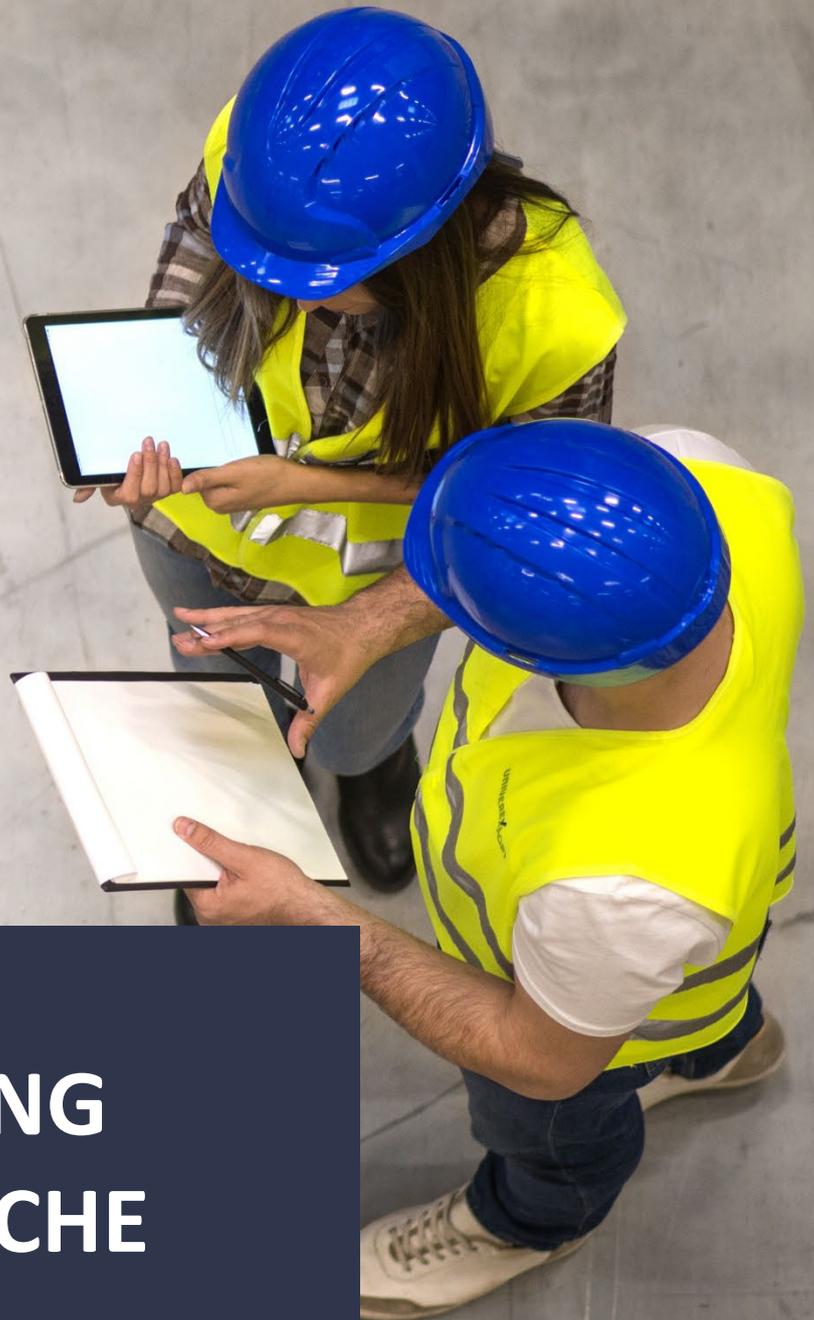


Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



DIGITALISIERUNG DER BAUBRANCHE

Impressum

Wer sind wir?

RPTU

Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau

Fachgruppe Baubetrieb und Bauwirtschaft

Lehrstuhl Robotersysteme

Prof. Dr. Karsten Körkemeyer <karsten.koerkemeyer@bauing.uni-kl.de>,

Prof. Dr. Karsten Berns, Daniel Walter, Steven Becker, Axel Vierling, Dennis Meckel

Gottlieb-Daimler-Straße, Gebäude 47

67663 Kaiserslautern



Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE

Denis Feth <denis.feth@iese.fraunhofer.de>,

Thomas Jeswein, Stefanie Ludborz

Fraunhofer-Platz 1

67663 Kaiserslautern



Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

Dr. Sebastian Velten <sebastian.velten@itwm.fraunhofer.de>,

Michael Moos

Fraunhofer-Platz 1

67663 Kaiserslautern



Science and Innovation Alliance Kaiserslautern e. V.

Dr. Valentin Petzsche <info@siak-kl.com>,

Johanna Woll

Luxemburger Str. 3

67657 Kaiserslautern



buildingSMART Deutschland e. V.

Wiener Platz 6

01069 Dresden

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Bundesministerium für Digitales und Verkehr

Referat DK24

Invalidenstraße 44

10115 Berlin

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Titelgrafik: © iStock.com/Smederevac

Zusammenfassung

Das Wichtigste in Kürze

Infrastrukturprojekte wie Straßen- und Brückenbau sind komplexe und teure Bauvorhaben. Dabei gilt: Je komplexer das Projekt, desto anspruchsvoller wird es, die vereinbarten Termin-, Qualitäts- und Kostenziele einzuhalten. Mit dem Stufenplan des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) wurde daher ein wichtiger Impuls für die deutsche Baubranche zur Digitalisierung und flächendeckenden Einführung von Building Information Modeling (BIM) bei Infrastrukturprojekten gesetzt. In Anbetracht des inzwischen großen Soft- und Hardwareangebots sowie der zunehmenden Anwendung von BIM könnte man annehmen, dass die Digitalisierung schon längst in der Baubranche angekommen ist. Andererseits wird BIM bisher primär für die Planung eingesetzt und unsere Voruntersuchungen zeichnen ein sehr heterogenes Bild hinsichtlich des Fortschritts bei der Digitalisierung.

Im Rahmen dieser Studie sollten daher vertiefte Erkenntnisse über den Stand der Digitalisierung der Baubranche, speziell im Sektor Infrastrukturmaßnahmen, gewonnen werden. Die übergeordnete Fragestellung lautete: Wie viel Digitalisierung ist bei den Bauunternehmen schon in der Praxis angekommen und wo drückt der digitale Schuh derzeit? In einer Reihe von 26 Interviews mit Vertretern der Baubranche wurden ihre Erfahrungen, Wünsche und Lösungsstrategien erfragt.

Von der Digitalisierung selbst versprechen sich die Interviewteilnehmer primär ein effizienteres Bauen durch optimierte Prozesse, eine bessere Zusammenarbeit durch direktere Kommunikation sowie eine Steigerung der Attraktivität des Berufsbilds bzw. der Branche selbst. Technische Herausforderungen bestehen primär beim Datenaustausch und hinsichtlich der Datenqualität. Die meisten eingesetzten Softwarelösungen funktionieren, von einem teils hohen Einarbeitungsaufwand abgesehen, gut – scheitern aber spätestens bei der Zusammenarbeit mit anderen Softwarelösungen. Dennoch hakt die Digitalisierung meist nicht primär wegen unzureichender Technik, sondern aufgrund personeller (z. B. Personalmangel, fehlende Akzeptanz), finanzieller (z. B. Anschaffungskosten, Freistellungen für Weiterbildungen) oder struktureller (z. B. Vergabeverfahren) Hindernisse. Dieses Bild zeichnet sich auch bei möglichen Lösungsansätzen weiter. Die von den Interviewteilnehmern am zielführendsten empfundenen Lösungsansätze bewegen sich nicht auf technischer Ebene. Stattdessen wird Vorreitern in der Branche und Vorbildern im Unternehmen große Bedeutung zugemessen. Auch von einer Vereinheitlichung von Prozessen und von der Etablierung nationaler und internationaler Standards erwartet man sich einen großen An Schub bei der Digitalisierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation & Studiendesign	5
1.1	Studienziele	5
1.2	Studiendesign	6
1.3	Durchführung	6
1.4	Validität der Ergebnisse	7
1.5	Auswertung	7
2	Digitalisierungsverständnis	8
2.1	Verständnis der Teilnehmer	8
2.2	Erwarteter Nutzen	9
3	Eingesetzte IT-Systeme	10
3.1	Planungssoftware-Recherche	10
3.2	Genannte Software-Tools	15
3.3	Datenformate	16
3.4	Hardware	16
4	Herausforderungen	17
4.1	Technische Herausforderungen	17
4.2	Personelle Herausforderungen	20
4.3	Finanzielle Herausforderungen	22
4.4	Strukturelle Herausforderungen	22
5	Lösungsansätze	24
5.1	Vorbilder und Motivation	24
5.2	Prozesse und Standards	25
5.3	Effizienz und Korrektheit	26
5.4	Visualisierung und Demonstration	26
6	Fazit	27
6.1	Handlungsempfehlungen für die Baubranche	29
6.2	Handlungsempfehlungen für Politik und Verwaltung	30
	Referenzen	31

1 Motivation & Studiendesign

Worum geht es in dieser Studie?

Infrastrukturprojekte wie Straßen- und Brückenbau sind komplexe und teure Bauvorhaben. Dabei gilt: Je komplexer das Projekt, desto anspruchsvoller wird es, die vereinbarten Termin-, Qualitäts- und Kostenziele einzuhalten. Eine Studie aus dem Jahr 2015 beziffert die durchschnittliche Kostenüberschreitung bei solchen Projekten mit 73 Prozent [1].

Digitalisierung ist ein wichtiger Baustein zur Lösung dieses Problems. Mit dem Stufenplan des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) wurde für die deutsche Baubranche ein wichtiger Impuls zur Digitalisierung und insbesondere zur breiten Einführung von Building Information Modeling (BIM) in Infrastrukturprojekten gegeben. BIM bezeichnet eine Methode der vernetzten Zusammenarbeit, die alle relevanten Daten in einem Modell bündelt. Sie wird häufig in den Planungsphasen (Terminplanung, Objektplanung, Kostenplanung etc.) angewendet. Das Potenzial von Digitalisierung ist besonders groß, wenn man sich weg von Insellösungen und hin zu einer übergreifenden Vernetzung der Systeme bewegt – von der Planungssoftware bis hin zu den Maschinen.

In Anbetracht des großen Soft- und Hardwareangebots sowie der zunehmenden Anwendung von BIM könnte man annehmen, dass die Digitalisierung schon längst in der Baubranche angekommen ist. Andererseits

wird BIM, wie bereits erwähnt, bisher primär für die Planung eingesetzt. Darüber hinaus begegneten uns in unseren Voruntersuchungen im Projekt „Infra-Bau 4.0“ [2] diverse Defizite bei der Vernetzung von IT-Systemen im Allgemeinen und IoT-Systemen im Speziellen, was sich in der Praxis häufig negativ auf die Qualität und Effizienz von Planung und Umplanung auswirkt.

Eine übergeordnete Lösung gestaltete sich also in der Vergangenheit schwierig – auch angesichts der hohen Fragmentierung der Branche und der großen Segmentierung der Prozesskette.

1.1 Studienziele

Im Rahmen dieser Studie sollten daher vertiefte Erkenntnisse über den Stand der Digitalisierung der Baubranche allgemein und speziell im Sektor Infrastrukturmaßnahmen gewonnen werden. Der Fokus lag dabei auf der Baurealisierung mit zahlreichen Baubeteiligten bzw. Institutionen (Auftraggeber, Auftragnehmer, Nachunternehmer, Planer etc.). Die Kernfragen unserer Untersuchung waren:

1. Was **verstehen** die Baubeteiligten unter „**Digitalisierung**“?
2. Welche **Systeme** setzen sie ein und was können diese (nicht)?
3. Was **erhoffen** sie sich von einer zunehmenden Digitalisierung?

4. Welchen **Herausforderungen** und **Problemen** begegnen sie im Alltag?
5. Welche **Lösungsansätze** gibt es bereits, um diesen Herausforderungen und Problemen zu begegnen?

1.2 Studiendesign

Die Fragen sollten primär über eine qualitative Interviewstudie beantwortet werden. Potenzielle Interviewteilnehmer (im Folgenden kurz Teilnehmer) wurden über die Netzwerke von BuildingSMART Deutschland sowie von der Science and Innovation Alliance Kaiserslautern angesprochen (Newsletter, Social Media und persönliche Ansprache). Ergänzend zu den Interviews sollte eine Recherche durchgeführt werden, um die Funktionalität der Softwarelösungen genauer zu betrachten.

Für die Interviewstudie wurden semi-strukturierte Online-Interviews geplant. Für die Durchführung gab es einen Leitfaden, der folgende Themen abdeckte:

- Software- und Hardware-Landschaft
- Herausforderungen beim Einsatz digitaler Lösungen
- Positiv-Beispiele für gute Digitalisierung
- Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen
- Finanzierung und Anreize

Die Interviews wurden pseudonymisiert protokolliert. Die Personenzuordnung wurde während der Projektlaufzeit getrennt von den Daten gehalten und nach Projektende gelöscht, sodass nun keine Zuordnung zu einzelnen Personen mehr möglich ist.

1.3 Durchführung

Schlussendlich wurden im November und Dezember 2023 26 Personen von 25 Unternehmen der Baubranche befragt. Vor dem Interview wurde jeder Teilnehmer über unsere Datenschutzmaßnahmen und seine

Rechte aufgeklärt. Bei jedem Interview war, neben den zu interviewenden Teilnehmern, stets mindestens einer unserer IT-Experten, einer unserer Bau-Experten sowie ein Protokollant anwesend. Von den 26 Teilnehmern waren 21 Männer (81 %) und fünf Frauen (19 %).

Schaut man sich die Rollen der Teilnehmer in ihrem jeweiligen Unternehmen an, so fällt auf, dass neben BIM-Managern auch Projektleiter und Geschäftsführer stark vertreten waren; siehe Abbildung 1.



Abbildung 1 – Rollen im Unternehmen (Mehrfachnennung möglich)

Bei den Unternehmen war auffällig, dass sich mit 68 Prozent überwiegend große Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitern an unserer Studie beteiligt haben; siehe Abbildung 2.

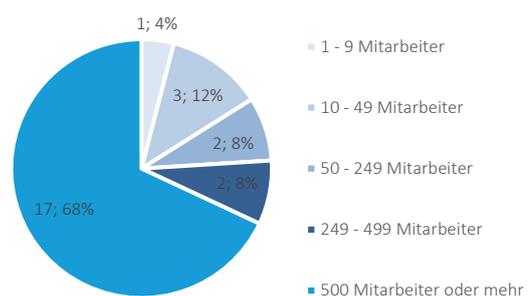


Abbildung 2 – Unternehmensgröße

Die Unternehmen stammen überwiegend aus dem Verkehrswege- und Ingenieurbau; siehe Abbildung 3.

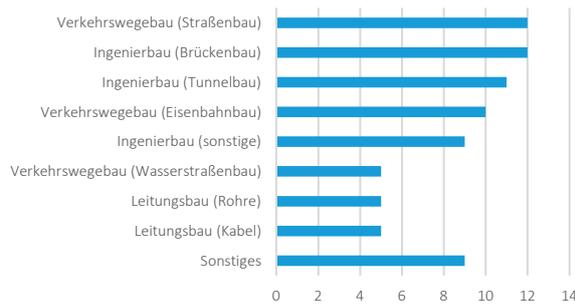


Abbildung 3 – Branchen (Mehrfachnennung möglich)

Neben Planungsbüros, die erwartungsgemäß stark vertreten waren, beteiligten sich vorrangig Software-Hersteller und ausführende Unternehmen an unserer Studie; siehe Abbildung 4.

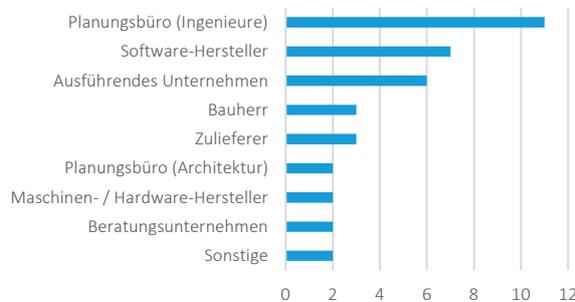


Abbildung 4 – Unternehmensarten (Mehrfachnennung möglich)

1.4 Validität der Ergebnisse

Die in dieser Studie vorgestellten Ergebnisse basieren auf den subjektiven Wahrnehmungen und Erfahrungen der interviewten Personen. Es handelt sich um eine qualitative Studie und spiegelt nicht notwendigerweise die Meinungen der Autoren wider. Bezüglich der Validität sind folgende Aspekte zu beachten:

1. **Interne Validität:** Die Zusammenstellung des Interview-Teams war für jedes Interview individuell. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass jeweils ein IT-Experte und ein Bau-Experte anwesend waren, um inhaltlichen Missverständnissen vorzubeugen. Um eine Einheitlichkeit der Interviews zu erreichen, gab es einen vorab

abgestimmten und verbindlichen Interview-Leitfaden und ein klar strukturiertes Dokumentationstemplate.

2. **Externe Validität:** Die Generalisierbarkeit wird primär dadurch eingeschränkt, dass die Stichprobengröße mit 26 Interviews für eine quantitative Studie zu gering wäre. Außerdem gibt es in der Teilnehmerschaft eine überproportionale Vertretung der Planungs- und Führungsrollen. Dies liegt daran, dass die Teilnehmer primär über den Verteiler von BuildingSMART gewonnen wurden. Hierdurch ergibt sich eine Verzerrung in Richtung Planer, Geschäftsführer und „IT-affine Personen“. Die ausführenden Rollen (Polier, Bauleiter, Handwerker etc.) waren in der Interviewstudie kaum vertreten.

1.5 Auswertung

Zur systematischen Erfassung der Ergebnisse wurde die Software „ReqSuite RM“ genutzt. Nach Abschluss eines jeden Interviews wurden die Antworten aus dem Protokoll in vorab festgelegte Kategorien (z. B. Potenziale, Positiv-Beispiele, Einflussfaktoren, Probleme) eingeordnet. Für jede Kategorie gab es eine spezifische Beschreibungsvorlage, anhand derer die Aussagen aus den Interviews ausformuliert wurden. Dabei wurde darauf geachtet, dass keine Duplikate erfasst wurden. Stattdessen wurden mehrfach genannte Elemente mit den entsprechenden Interviewquellen verknüpft. Anschließend wurden die erfassten Elemente harmonisiert, sortiert und kategorisiert, um die weitere Auswertung zu vereinfachen. In einem Workshop des Konsortiums wurden die Ergebnisse diskutiert, interpretiert und priorisiert. Die Ergebnisse dieser Arbeiten und damit der Studie werden im Folgenden vorgestellt.

2 Digitalisierungsverständnis

Was verspricht man sich von der Digitalisierung?

Die Digitalisierung ist ein weitreichendes Phänomen, das sich auf die Integration digitaler Technologien in verschiedenen Bereichen des modernen Lebens bezieht. Es umfasst die Automatisierung von Prozessen, die Nutzung von Künstlicher Intelligenz und Maschinellem Lernen sowie die Verwendung von sozialen Medien und mobilen Anwendungen. Die Digitalisierung hat tiefgreifende Auswirkungen auf die Art und Weise, wie wir arbeiten, kommunizieren und unser tägliches Leben gestalten.

Im industriellen Kontext wird die Digitalisierung oft im Zusammenhang mit dem Begriff „Industrie 4.0“ diskutiert, der sich auf die vierte industrielle Revolution bezieht. Diese Revolution wird von der Automatisierung und Vernetzung von Produktionsprozessen durch den Einsatz digitaler Technologien geprägt. Industrie 4.0 bezieht sich auf die Entwicklung hin zu einer intelligenten Produktion, in der intelligente Maschinen miteinander kommunizieren und autonom Entscheidungen treffen können. Das Ziel besteht darin, eine flexible, effiziente und kundenorientierte Produktion zu ermöglichen.

Die Digitalisierung wird oft als ein wesentlicher Treiber des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wandels angesehen. Sie eröffnet Chancen für Innovation, Wachstum und Fortschritt. Gleichzeitig gibt es auch Beden-

ken hinsichtlich der Auswirkungen auf Arbeitsplätze, Datenschutz und die Privatsphäre. Es ist wichtig, die Auswirkungen der Digitalisierung zu verstehen und angemessene Maßnahmen zu ergreifen, um sicherzustellen, dass sie zum Wohl der Gesellschaft und der Wirtschaft genutzt wird.

2.1 Verständnis der Teilnehmer

Im Rahmen der Interviews wurde zunächst nach dem Verständnis des Begriffs „Digitalisierung“ gefragt. Aufgrund des Teilnehmerkreises, der, wie eingangs beschrieben, ein sehr breites und vielfältiges Spektrum an Teilnehmern aus der gesamten Baubranche umfasste, fielen die Antworten sehr unterschiedlich aus. Dennoch konnte ein Gesamtbild herausgearbeitet werden.

Zunächst einmal berichtete ein Großteil der Teilnehmer, dass in der Praxis unter Digitalisierung häufig lediglich die Digitalisierung analoger Medien verstanden wird (im Englischen wird dieser Schritt üblicherweise als „Digitization“ bezeichnet). Dies ist auf jeden Fall ein wichtiger Faktor und stärkt die digitale Zusammenarbeit innerhalb eines Unternehmens. So kann Digitalisierung im Bereich der Bauausführung genutzt werden, um die Baustelle papierloser zu gestalten. Lieferscheine oder andere Dokumente und Protokolle können nach Aussage der Teilnehmer

vollständig digital erfasst und abgelegt werden. Notwendige Planunterlagen und Zeichnungen können ebenfalls digital abgelegt werden. Mittels mobiler Endgeräte können diese Daten und Informationen jederzeit auf der Baustelle verfügbar gemacht werden.

Allerdings sei dies, so einige Teilnehmer, nicht das, was unter dem Begriff der Digitalisierung eigentlich zu verstehen sei. Vielmehr sei unter Digitalisierung die intelligente Gewinnung, Aufbereitung und Nutzung qualitativ hochwertiger Informationen zu verstehen.

Es wurde auch häufig angemerkt, dass der Begriff der Digitalisierung im Kontext des Bauens häufig synonym mit dem Begriff „Building Information Modeling (BIM)“ verwendet wird. Viele der Teilnehmer verstehen BIM in diesem Zusammenhang als das zentrale Werkzeug, um interdisziplinär zusammenzuarbeiten, Informationen und Daten zentral zu verwalten und auszutauschen. BIM ermöglicht das gemeinsame Arbeiten an einem zentralen Bauwerksinformationsmodell und trägt damit maßgeblich zu einer erheblichen Optimierung des gesamten Planungsprozesses bei. Darüber hinaus bildet ein spezifisches Bauwerksinformationsmodell die Grundlage für die spätere Erfassung und Nutzung von Daten, die während der Bauausführung erhoben werden können. BIM mit seinen zahlreichen sogenannten BIM-Dimensionen (3D – 10D) ermöglicht somit nicht nur eine optimierte Bauwerksplanung, sondern dient auch als zentrale Datenquelle für die spätere Ausführung und Nutzung von Bauwerken. BIM wird von den Teilnehmern als Grundlage für viele weitere technische Innovationen gesehen.

2.2 Erwarteter Nutzen

Ein Großteil der Teilnehmer sieht in der Digitalisierung ein zentrales Instrument zur Erleichterung des Arbeitsalltags. Ganz zentral kann die Digitalisierung wesentlich dazu beitragen, den Arbeitsalltag effizienter zu gestalten. Vor allem die Möglichkeit des papierlosen Arbeitens und die jederzeitige Verfügbarkeit aller notwendigen Informationen und Daten wurden von einem Großteil der Teilnehmer genannt. Die digitale Arbeitsweise trägt wesentlich dazu bei, dass alltägliche und immer wiederkehrende Tätigkeiten, sogenannte Routineaufgaben, erleichtert oder sogar ganz vermieden werden können und somit ein nicht unerheblicher Teil der Arbeitszeit eingespart werden kann. In diesem Zusammenhang wurde von den Teilnehmern auch die Optimierung bestehender Prozesse im Zuge einer Digitalisierung genannt. Die fortschreitende Digitalisierung fördere somit die Zusammenarbeit auf verschiedenen Ebenen. Das kollaborative und gemeinschaftliche Erstellen und Austauschen von Informationen führe dazu, dass relevante Informationen für verschiedene Nutzer ortsunabhängig und stets aktuell zur Verfügung stünden und somit eine allgemeine Transparenz geschaffen werden könne.

Die Aufbereitung bisheriger Prozesse in digitaler Form und die damit einhergehende Automatisierung ist für viele Teilnehmer ein weiterer zentraler Vorteil der Digitalisierung. In einem ganzheitlichen Prozess, der klaren Standards unterliegt und in dem Daten zentral abgelegt sind, werden nach Ansicht der Teilnehmer Informationsbrüche und Doppelarbeiten weitestgehend vermieden, was sich schlussendlich positiv auf die Bauqualität und Effizienz auswirkt.

3 Eingesetzte IT-Systeme

Welche Systeme gibt es, welche werden eingesetzt und was leisten sie?

Im Rahmen einer Studie wurden die Teilnehmer befragt, welche Software-Tools sie bei ihrer täglichen Arbeit am häufigsten nutzen. Diese Software-Tools wurden dann in folgende Kategorien eingeteilt: Dokumentenverarbeitung, Kommunikation & Kollaboration, Datenaustausch, Terminplanung sowie 3D-Planung und Koordination. Darüber hinaus wurde in der Kategorie der Terminplanungssoftware eine Recherche durchgeführt, um herauszufinden, welche Softwarelösungen am Markt vorhanden sind und welche Planungsassistenten diese implementiert haben. Zusätzlich wurde in den Interviews nach genutzten Datenformaten und der genutzten Hardware gefragt. Die Ergebnisse dieser Befragung sind in den Unterkapiteln 3.3 und 3.4 dargestellt. Zunächst werden unsere Ergebnisse zu den am Markt befindlichen Software-Tools im Bereich der Terminplanungssoftware vorgestellt. In Unterkapitel 3.2 werden dann alle von den Studienteilnehmern genannten Software-Tools präsentiert.

3.1 Planungssoftware-Recherche

Innerhalb des Projekts wurde eine Recherche durchgeführt mit dem Ziel, herauszufinden, welche intelligenten Assistenzen zur Ablauf- und Ressourcenplanung derzeitige Softwarelösungen haben und welche davon derzeit

genutzt werden. In diesem Unterkapitel stellen wir unsere Ergebnisse vor.

Zuerst teilen wir die Planungssoftware-Tools in verschiedene Kategorien ein und nennen jeweils typische Beispiele. Danach betrachten wir wesentliche Assistenzansätze zur Ablauf- und Ressourcenplanung, die in den zuvor genannten Software-Tools zur Verfügung stehen. Abschließend fassen wir die Ergebnisse in einem kurzen Fazit zusammen, zeigen Probleme der aktuellen Software-Tools auf und machen Vorschläge, wie zukünftige Systeme gestaltet sein sollten, um Anwender bei der Lösung von Ablauf- und Ressourcenplanungsproblemen besser zu unterstützen.

Planungssoftware-Kategorien

Hinsichtlich Ablauf- und Ressourcenplanung unterteilen wir die untersuchte Software in drei Kategorien. Die erste Kategorie (siehe 4D-Modellierer) umfasst Werkzeuge, die primär für die Entwicklung von 4D-Modellen programmiert wurden. Diese Werkzeuge bieten häufig eine Assistenzfunktion zur halbautomatischen Erstellung eines Ablauf- und Terminplans, die oft auch mit einer einfachen deterministischen Simulationskomponente geliefert wird. Die beiden anderen Kategorien werden dahingehend unterschieden, dass sich die eine auf die Kalkulation vor Pro-

jektbeginn (siehe Projektkalkulationssoftware) und die andere auf die Projektsteuerung (siehe Projektsteuerungssoftware) konzentriert. Die Grenzen sind jedoch fließend und es ist nicht bei jedem Software-Tool eindeutig, in welche Kategorie es fällt.

4D-Modellierer

4D-Modellierungssoftware ist ein wichtiger Bestandteil des modernen Bauwesens. Diese Software ermöglicht es Bauteams, komplexe Bauprojekte zu planen, zu visualisieren und zu simulieren, indem sie 3D-Modelle mit Zeitplänen verknüpfen. Zeitpläne stellen dabei die vierte Dimension dar. Die Erstellung von Arbeitspaketen sowie eines Zeitplans kann bei manchen dieser Softwarelösungen teilautomatisiert durchgeführt werden. Die Software versucht dabei, in dem 3D-Modell die Arbeitsschritte zu erkennen und über Anordnungsbeziehungen in einen Zeitablaufplan zu setzen. Der Nutzer kann dabei über die Verwendung von Templates die Plangenerierung steuern, wenn beispielsweise mehrere Stockwerke einen ähnlichen Aufbau aufweisen. Dadurch werden nur kleine Plananpassungen nötig, wenn die Software z.B. ein 3D-Element dem falschen Stockwerk zugewiesen hat und dadurch die Anordnungsbeziehung zu den anderen Aufgaben nicht stimmt. Darüber hinaus bietet 4D-Modellierungssoftware häufig auch weitere Planungshilfen wie z.B. Ressourcenplanung und Arbeitsablaufsimulation. Hiermit kann man über eine deterministische Simulation analysieren, wie sich das geplante Gebäude über die Zeit aufbaut. Es konnte in einer empirischen Studie [3] gezeigt werden, dass Teams, die 4D-Modellierungssoftware nutzen, öfter und schneller logische Fehler im Modell erkennen. Beispiele für Software-Tools dieser Kategorie sind Bexel¹, Navisworks² oder Synchro 4D³. Diese Systeme sind drei prominente Vertreter die-

ser Kategorie, die in der genannten Reihenfolge besonders gut für Halbautomation der Terminplanerstellung, Kollaboration und große Bauprojekte geeignet sind.

Projektkalkulationssoftware

Software-Tools dieser Kategorie werden für die Kalkulation von Kosten- und Arbeitsaufwänden sowie für die Erstellung von Zeitplänen zu Beginn des Projekts verwendet. Manche Aufgaben des Projektes haben im ersten Schritt nur Aufwände zugewiesen, die sich durch die Zuweisung von Ressourcen mit spezifischen Arbeitsgeschwindigkeiten (Zeit/Aufwandseinheit) zeitlich einschätzen lassen. Ziel ist es, einen Projektablaufplan zu erstellen, der einen Überblick über den Projektverlauf gibt und möglichst robust gegenüber potenziellen Verzögerungen ist. Viele der gefundenen Softwarelösungen können bereits in diesem ersten Planungsschritt helfen, Risiken abzuschätzen und in den Ablaufplan zu integrieren. Risiken können hier die Nichteinhaltung von Terminen, der Ausfall von Subunternehmen oder Kostensteigerungen sein. Für diese Risiken können Eintrittswahrscheinlichkeiten angegeben werden, ggf. auch abgestuft (z.B. Wahrscheinlichkeiten für einen Monat oder zwei Monate Verspätung). Darüber hinaus ist häufig auch eine Multiprojektplanung möglich, d.h. mehrere Projekte können gleichzeitig geplant und/oder koordiniert werden. In diesem Fall ist eine konkrete Ressourcenplanung entscheidend, da sichergestellt werden muss, dass Ressourcen nicht zur selben Zeit in verschiedenen Projekten eingesetzt werden. Bei der Multiprojektplanung ist es deshalb umso wichtiger, den Überblick über die Aufgaben und die zugewiesenen Ressourcen zu behalten. Bei unseren Gesprächen mit Anwendern wurde deutlich, dass auch die Kollaboration innerhalb eines Teams, d.h. die gemeinsame

¹ <https://bexelmanager.com/>

² <https://www.autodesk.com/products/navisworks>

³ <https://virtuosity.bentley.com/product/synchro-4d/>

Arbeit an einer Planung, ein wichtiges Feature ist.

Zur Umsetzung der genannten Features (Risikoabschätzung, Multiprojektplanung, Kollaboration) wird ein allgemeines und damit komplexes Datenmodell verwendet. Dieses ermöglicht es, beliebige Bauprojekte in der Datenbank zu erfassen und die gewünschten Informationen zu berechnen.

Gängige Planungswerkzeuge wie Primavera P6⁴, MS Project⁵ und Powerproject⁶ haben neben den genannten Features auch weitere Planungsassistenten, wie z.B. Resource Leveling, integriert. Diese sind in Unterkapitel Planungsassistenten beschrieben. Auch können diese Tools zur Projektsteuerung (siehe Projektsteuerungssoftware) und Analyse des Projektfortschritts genutzt werden, jedoch steht in der Nutzeroberfläche die Kalkulation zu Beginn des Projekts bei diesen Softwarelösungen im Vordergrund.

Projektsteuerungssoftware

Eine weitere Kategorie von Planungssoftware in der Bauindustrie konzentriert sich auf die Projektsteuerung. Ein unkomplizierter Datenfluss ist hier der Schlüssel. Informationen sollen schnell vom Backoffice zur Baustelle und zurück gelangen, um auftretende Probleme sofort sehen zu können. Hierbei kommen oft mobile Anwendungen, die auf einem Tablet in der Hand des Arbeiters auf der Baustelle laufen, zum Einsatz. Es können so auch direkt Bilder von den aufgetretenen Problemen gemacht und neuen Arbeitspaketen zugeordnet werden. Darüber hinaus können mit diesen Systemen auch in Echtzeit Arbeitszeiten erfasst und weiterverarbeitet werden. Es werden in der Regel Plattformlösungen eingesetzt. So ist es möglich, über eine Programmierschnittstelle (API) weitere

Systeme anzubinden. Dies eröffnet eine Vielzahl von Erweiterungsmöglichkeiten. So können mit den angeschlossenen Systemen auch weitere Planungsassistenten, wie im nächsten Kapitel beschrieben, hinzugefügt werden, sofern diese von den angeschlossenen Systemen implementiert sind. Neben den eher desktoporientierten Tools, die im Abschnitt Projektkalkulationssoftware beschrieben wurden, sind plattformbasierte Lösungen Bridgit Bench⁷ oder Procore⁸. Hierbei bietet Bridgit Bench den Blick auf das Projekt mehr über die Arbeitskräfte und Procore mehr über die Arbeitspakete, wobei die Funktionalitäten ähnlich sind.

Planungsassistenten

In diesem Unterkapitel werden Planungsassistenzsysteme vorgestellt, die in vielen der untersuchten Software-Tools für die Planung von Bauprojekten implementiert sind. Die vorgestellten Assistenten sind von allgemeiner Natur und auf verschiedene Arten von Bauprojekten anwendbar und wurden auch in verschiedenen Softwarelösungen umgesetzt. Über die vorgestellten Assistenten hinaus gibt es in den untersuchten Softwarewerkzeugen weitere Assistenzsysteme, die die Planung und Steuerung von Bauprojekten unterstützen können. Beispielsweise gibt es Funktionalitäten für allgemeine Risikoanalysen, bei denen über eine Wahrscheinlichkeit die Auswirkung auf die Arbeitszeit oder die Kosten in definierbaren Größenordnungen eingegeben werden kann. So kann eine allgemeine Volatilität des Projektes bestimmt werden und der Überblick über die bekannten Risiken behalten werden. Die folgenden Assistenten wurden am häufigsten gefunden.

⁴ <https://www.oracle.com/de/industries/construction-engineering/primavera-p6/>

⁵ <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/project/project-management-software>

⁶ <https://elecosoft.com/products/powerproject/>

⁷ <https://gobridgit.com/>

⁸ <https://www.procore.com/>

Critical Path Method

Die Critical Path Method (CPM) ist ein essenzielles Werkzeug für die Projektplanung und -steuerung in der Bauindustrie. Der kritische Pfad ist die längste Kette von abhängigen Aufgaben in einem Projekt, die die Gesamtdauer des Projekts bestimmen. Für Aufgaben auf dem kritischen Pfad gilt, dass sich das ganze Projekt verlängert, wenn sich diese Aufgabe verlängert. Die Methode des kritischen Pfades geht auf ein Paper aus den späten 1950er Jahren zurück [4]. Algorithmisch lässt sich der kritische Pfad über einen zweistufigen Algorithmus bestimmen. Im ersten Schritt wird eine Vorwärtsplanung durchgeführt, in der an jede Aufgabe, angefangen vom Projektstart, die frühestmögliche Startzeit geschrieben wird. Anschließend wird in einer Rückwärtsplanung beginnend mit dem Projektende an jede Aufgabe die spätestmögliche Startzeit geschrieben. Nun kann man alle Aufgaben, bei denen der frühestmögliche mit dem spätestmöglichen Startzeitpunkt zusammenfällt, identifizieren. Diese Aufgaben bilden eine Kette, die man als kritischen Pfad bezeichnet. Da es bei einem komplexen Projektgraph nicht direkt sichtbar ist, welche Aufgaben in diese Kategorie fallen, kann eine Softwareunterstützung hilfreich sein. Bei der Softwareuntersuchung konnten wir feststellen, dass Planungssoftware wie Microsoft Project, Primavera oder Powerproject ein solches Feature eingebaut hat.

Program Evaluation and Review Technique

Die Program Evaluation and Review Technique (PERT) ist eine Erweiterung der CPM-Methode und kann in der Bauindustrie verwendet werden, um die Unsicherheit in der Schätzung von Projektdauern zu berücksichtigen. Die PERT-Methode geht auf das Jahr 1959 zurück [5]. PERT bietet eine Methode zur Analyse von Risiken und Unsicherheiten bei der Projektplanung, indem sie die realistischen, optimistischen und pessimistischen

Schätzungen eines jedes Arbeitspakets nutzt, um für das gesamte Projekt eine Zeitabschätzung zu berechnen. Genauer gesagt, es wird angenommen, dass sich die Dauer eines Arbeitspakets durch eine Beta-Verteilung beschreiben lässt. Diese kann mithilfe der realistischen, optimistischen und pessimistischen Zeiten bestimmt werden. Sind nun ausreichend viele Arbeitspakete auf dem kritischen Pfad, kann auf Grund des Gesetzes der großen Zahlen angenommen werden, dass die Gesamtprojektlaufzeit durch eine Normalverteilung beschrieben werden kann. Auf Basis dieser Verteilung können dann Wahrscheinlichkeiten für Verspätungen beliebiger Länge bestimmt werden. Da die Aussage des Gesetzes der großen Zahlen nur bei einer ausreichenden Menge von Arbeitspaketen auf dem kritischen Pfad gilt, sind entsprechende Risikoabschätzungen bei kleineren Bauprojekten mit hohen Unsicherheiten behaftet.

In gängiger Bauprojektplanungssoftware wie z.B. Microsoft Project, Primavera oder Powerproject wird die PERT-Methode oft als integriertes Feature bereitgestellt. Um dieses Feature nutzen zu können, müssen die Zeitabschätzungen für die einzelnen Aufgaben eingegeben werden.

Resource Leveling

Resource Leveling ist ein Verfahren, welches bei der Planung und Steuerung von Bauprojekten eine effektive und effiziente Planung der Projektressourcen sicherstellt. Die Methode wurde zum ersten Mal in einer Arbeit von S. Easa unter vereinfachenden Annahmen eingeführt [6]. Es wurde nur eine Ressource für das Projekt angenommen. In den nachfolgenden Jahren wurde das Optimierungsmodell weiterentwickelt, um auch für mehrere Ressourcen gute Ergebnisse erzielen zu können. Im ersten Schritt des Verfahrens werden Ressourcenengpässe identifiziert. Es wird also geprüft, wo eine Ressource

überlastet ist. Werden solche Engpässe gefunden, werden diese in einem zweiten Schritt mithilfe eines Optimierungsproblems aufgelöst. Dieses Optimierungsproblem kann beispielsweise durch ein gemischt-ganzzahliges lineares Programm formuliert und gelöst werden. In einem solchen mathematischen Programm sind sowohl Start- und Endzeiten von Arbeitspaketen als auch zugewiesene Ressourcen (und somit Ausführungszeiten) variabel und können so verändert werden, dass die im ersten Schritt identifizierten Überlasten vermieden werden. Neben der Lösung des Engpasses ist ein weiteres Optimierungsziel, den Gesamtplan so wenig wie möglich zu verändern. Das bedeutet, dass die Arbeitspakete zeitlich nicht zu weit verschoben werden. Da es bei solchen Verschiebungen oder Verlängerungen von Vorgängen vor allem darauf ankommt, die Gesamtdauer des Projekts so wenig wie möglich zu verlängern, muss den Arbeitspaketen, die auf dem kritischen Pfad (siehe Seite 13) liegen, besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Software muss daher den kritischen Pfad automatisch erkennen. Eine Resource-Leveling-Komponente ist in Software-Tools wie Microsoft Project, Primavera und Powerproject enthalten.

Fazit und Herausforderungen für die Zukunft der softwaregestützten Terminplanung

In Gesprächen mit Bauunternehmen wurde erfragt, in welchem Umfang Planungssoftware und integrierte Planungshilfen zur Terminplanung eingesetzt werden. Dabei zeichnete sich ein Muster ab, das hier kurz dargestellt werden soll.

Viele Softwarelösungen können in der Praxis nicht ihr volles Potenzial entfalten, da sie aufgrund ihrer Allgemeinheit sehr komplex und

schwer zu bedienen sind. Spezielle Bauprojekte nutzen häufig nur einen Teil des zugrundeliegenden Datenmodells, da viele Daten nicht oder nicht in der benötigten Qualität vorliegen, und sind dadurch schwerer zu pflegen als nötig. Viele Datenfelder bleiben daher leer und die Benutzeroberfläche wird unübersichtlich.

Darüber hinaus sind viele der bereitgestellten Verfahren zwar sehr allgemein, aber auch veraltet. Aktuelle Techniken wie z.B. Machine Learning-Ansätze, welche aus vergangenen Projekten lernen, wie ein robuster Plan erstellt werden kann, oder auch Parallelisierungstechniken werden in diesen Systemen noch nicht adäquat berücksichtigt. Solche Ansätze können dabei helfen, den Anwender insbesondere hinsichtlich der Datenpflege zu entlasten, aber auch, um problem spezifischere Planungs- und Entscheidungsassistenten umzusetzen. So können für spezielle Bauprojekte auch mehr Annahmen getroffen werden und damit effektivere Algorithmen entwickelt und angewendet werden. Probleme, die z.B. im Tiefbau auftreten, müssen im Hochbau nicht unbedingt berücksichtigt werden und umgekehrt. In einem allgemeinen Softwaretool ist es nicht vorgesehen, Assistenten für solche bauwerksspezifischen Probleme anzubieten. Softwarewerkzeuge, die auf spezielle Bauprojekte ausgerichtet sind, können weiterhin die Komplexität reduzieren und die Benutzeroberfläche besser an die Bedürfnisse des Nutzers anpassen. Dies kann die Dateneingabe und die Nutzung der eingebauten Algorithmen erheblich vereinfachen oder überhaupt erst ermöglichen. Oft kann erst durch den Blick auf die Praxis konkreter Bauprojekte eine funktionsfähige Software entwickelt werden.

Ein Beispiel für eine solche problemspezifische Software ist Asphalt Pro⁹, die sich auf

⁹ <https://www.bomag.com/de-de/technologien/uebersicht/asphalt-pro/>

ein sehr eingeschränktes Problemfeld (hier: Straßenbau) beschränkt und mit Blick auf die Praxis spezielle Assistenten anbietet. Für den Abtransport von Schotter werden beispielsweise Routenassistenten angeboten. Durch den Blick auf das spezielle Problemfeld „Straßenbau“ mit der verwendeten Hardware (Fertiger, Walzen usw.) können auftretende Probleme besser erkannt und spezifische Softwarelösungen für diese Probleme angeboten werden.

3.2 Genannte Software-Tools

Wir wollen nun genauer auf die Studienteilnehmerbefragung eingehen. In der nachfolgenden Abbildung 5 sind die benannten Software-Tools einschließlich ihrer quantitativen Verwendung aufgeführt.

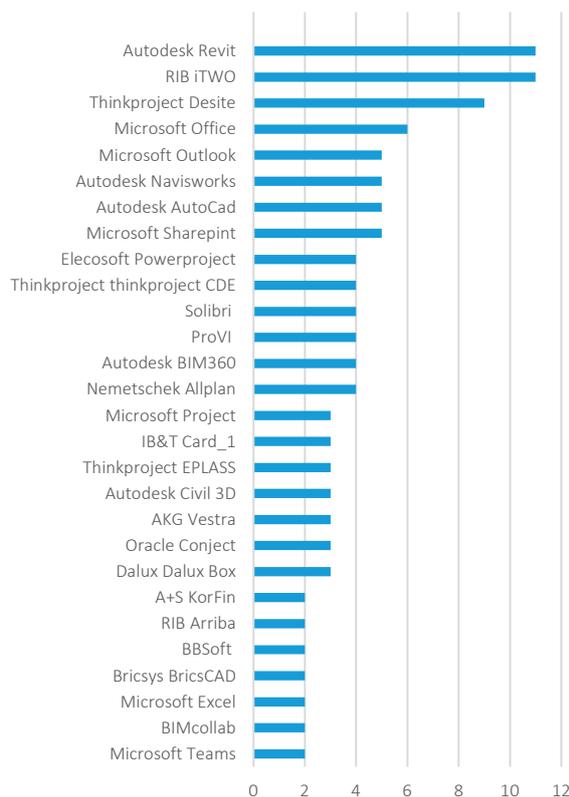


Abbildung 5 – Verwendung von Software-Tools (Auszug)

¹⁰ <https://www.microsoft.com/de-de/microsoft-365>

¹¹ <https://www.mural.co/>

Dokumentenverarbeitung

Im Bereich der Produktivitäts- und Administrations-Tools wurde vor allem das Office-Paket von Microsoft¹⁰ (Word, Power-Point, Excel und Outlook) genannt.

Kommunikation & Kollaboration

Im Bereich Kommunikation und Kollaboration wurden neben Microsoft Teams noch weitere Tools genannt. Mural¹¹ ist beispielsweise eine digitale Whiteboard-Plattform, die es ermöglicht, in Echtzeit gemeinsam an Ideen und Projekten zu arbeiten. Durch die Nutzung von Mural können Arbeitsprozesse effizienter gestaltet werden, da es möglich ist, schnelles Feedback zu geben und Entscheidungen zu treffen.

Datenaustausch

Auch WeTransfer¹² wird häufig als Tool für den Datenaustausch genutzt. Es ist besonders hilfreich, wenn es darum geht, große Dateien oder Dateimengen zu versenden, die aufgrund ihrer Größe nicht per E-Mail verschickt werden können. Der Vorteil von WeTransfer ist, dass es einfach und intuitiv zu bedienen ist und keine Registrierung oder Anmeldung erforderlich ist.

Terminplanung

Im Bereich Terminplanung wurde Powerproject am häufigsten genannt. Diese Software wurde speziell für die Baubranche entwickelt und ermöglicht eine detaillierte und umfassende Planung von Bauprojekten. Mit Powerproject können Bauabläufe und Termine geplant und koordiniert werden, was zu einer effizienteren Arbeitsweise beiträgt und Projekte erfolgreicher macht

¹² <https://wetransfer.com/>

3D-Planung und Koordination

Im Bereich der planungs- und bauspezifischen Software-Tools wurden verschiedene Tools genannt. In der Gruppe der 3D-Planungstools stehen Revit¹³ von AutoDesk und Desite von thinkproject¹⁴ an erster und zweiter Stelle. Auch AutoCAD¹⁵ und Allplan¹⁶ von Nemetschek wurden genannt. Weitere Tools mit weniger als drei Nennungen sind Archicad¹⁷, Rhino¹⁸, Microstation¹⁹ und Vectorworks²⁰. Für die Infrastrukturplanung wurden Vestra²¹ und Civil 3D²² genannt, während ITWO²³ von RIB und Dalux²⁴ als häufig genutzte BIM-Koordinationssoftware genannt wurden. BIM360²⁵ von AutoDesk und thinkproject CDE²⁶ werden am häufigsten als gemeinsame Datenumgebung genutzt. Auch Conject²⁷ und EPLASS²⁸ wurden genannt.

3.3 Datenformate

Auch im Bereich der Datenformate zeigt sich die große Bandbreite der verschiedenen Rollen der Teilnehmer (siehe Abbildung 6). Hier kann man generische Formate von bauspezifischen Datenformaten unterscheiden.

Im Kontext der generischen Datenformate wurde PDF mit insgesamt sechs Nennungen am häufigsten genannt. Weiterhin genannt wurden Excel-Dateien (XLSX), Comma-Separated Values (CSV) und Textdateien (TXT).

Dem gegenüber stehen bauspezifische Austauschformate der (modellbasierten) Planung von Bauprojekten. Auf dem ersten Platz landet hierbei das Format Industry Founda-

tion Classes (IFC) mit insgesamt 10 Nennungen. Ebenfalls häufig verwendet werden CPI-XML (sieben Nennungen), Revit-Dateien (RVT, fünf Nennungen) sowie Drawing-Dateien (DWG/DWX, fünf Nennungen). Weiterhin genannt wurden ISYBAU, EsriShare-Dateien, Okstra-Dateien, Shape Files (SHP), Keyhole Markup Language (KML), GPS Exchange Format (GXF), GAEB-Dateien, GeoJSON, CityGM, CAD-Dateien (DGN) und gbXML.

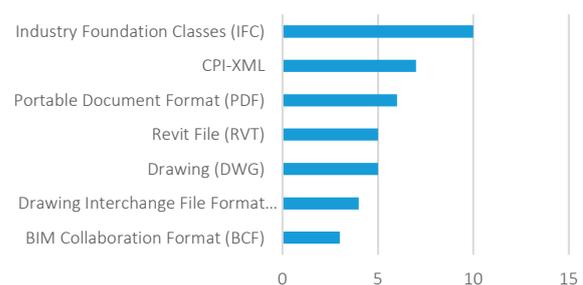


Abbildung 6 – Datenformate (Top 7)

3.4 Hardware

Im Bereich Hardware wurden von den Teilnehmern überwiegend Sensorsysteme genannt. Darunter zählen einerseits Sensoren zur Erfassung von Standortdaten, einschließlich deren Übermittlung per GPS, oder Beschleunigungssensoren zur Identifikation von Verdichtungsmaßnahmen des Bodens oder Temperatursensoren zur Erfassung der Bodentemperatur. Zur Erfassung von Bewegungsformaten wird darüber hinaus auf RFID-Chips und Sensoren zurückgegriffen. Vereinzelt sind zudem Baumaschinen bereits mit Objekterkennungssensoren zur Vermeidung von Unfällen ausgestattet

¹³ <https://www.autodesk.de/products/revit/overview>

¹⁴ <https://thinkproject.com/de/produkte/desite-bim/>

¹⁵ <https://www.autodesk.de/products/autocad/overview>

¹⁶ <https://www.allplan.com/de/>

¹⁷ <https://graphisoft.com/de/archicad>

¹⁸ <https://www.rhino3d.com/>

¹⁹ <https://www.bentley.com/software/microstation/>

²⁰ <https://www.vectorworks.net/>

²¹ <https://www.akgsoftware.de/>

²² <https://www.autodesk.de/products/civil-3d/overview>

²³ <https://www.rib-software.com/home>

²⁴ <https://www.dalux.com/>

²⁵ <https://www.autodesk.de/bim-360/>

²⁶ <https://thinkproject.com/de/produkte/tp-cde/>

²⁷ <https://ng.conject.com/>

²⁸ <https://www.eplass.de/>

4 Herausforderungen

Womit kämpft man in der Praxis?

In den Interviews kristallisierten sich im Wesentlichen vier Aspekte als Herausforderungen bei der Digitalisierung der Baubranche heraus. Dies sind die Aspekte Technik, Personal, Kosten sowie Regulatorik. Im Bereich Technik sind die vorhandenen Daten sowie deren Strukturierung und Austausch mittels Software größere Problembereiche. Der Bereich Personal umfasst die Ausbildung des vorhandenen Personals sowie die Haltung der Menschen zum Thema Digitalisierung im Bau. Kosten spielen sowohl bei der notwendigen Ausstattung als auch bei der Verteilung der finanziellen und menschlichen Ressourcen eine Rolle. Neben dem bisherigen internen Problem gibt es noch externe Einflussfaktoren, wie den Datenschutz oder Vergabeverfahren, welche sich zusätzlich je nach Bundesland und Staat unterscheiden. Auf die vier Hauptaspekte wird im Folgenden näher eingegangen.

4.1 Technische Herausforderungen

Inkompatibilitäten beim Datenaustausch

Der Austausch von Daten zwischen verschiedenen Baubeteiligten scheint eines der größten technischen Hemmnisse bei der Digitalisierung der Baubranche zu sein. Im Rahmen der Interviews kamen hier verschiedene, sich teilweise widersprechende Probleme und Lö-

sungsansätze auf, welche aber auf dem gleichen Grundproblem basieren: Wie tauscht man komplexe, teils unstrukturierte Daten aus, sodass alle notwendigen Daten vorhanden und ersichtlich sind und alle Parteien verlustfrei mit ihren jeweiligen Anwendungen mit den Daten arbeiten können?

Eine große Hürde beim Lösen dieser Probleme ist die generelle Fragmentierung der Baubranche. Dies beinhaltet die Fragmentierung in verschiedene Gewerke, die teilweise komplexe und intransparente Verteilung der Aufträge an Subunternehmen innerhalb eines Gewerkes und eine große Auswahl verschiedener Softwarelösungen. Klappt der Austausch der Daten innerhalb eines Gewerkes noch recht gut, so wird es beim Austausch zwischen den Gewerken entlang der ganzen Baukette umso schwieriger.

Jedes Software-Tool muss Import- und Exportfunktionen für fremde proprietäre Datenformate und für offene Standards wie IFC implementieren. Diese Import- und Exportfunktionen sind jedoch hochgradig komplex und funktionieren in der Praxis unterschiedlich gut. Insbesondere das Zusammenführen von Daten aus unterschiedlichen Softwarequellen und Firmenquellen ist eine große Herausforderung. Die momentane Lösung

besteht darin, zusätzliche PDF-Dateien mitzusenden und manuell die Datenkontinuität sicherzustellen.

Durch die fehlende Kompatibilität kommt es zum einen dazu, dass Teile der Daten beim Austausch weggelassen werden müssen, beziehungsweise verlorengehen. Zum anderen kommt es auch vor, dass Daten mehrfach in verschiedenen Detailgraden und Formaten gelagert werden. Dies bezieht Dopplungen über mehrere Firmen hinweg, aber auch innerhalb einer Firma ein. Änderungen an einem Modell werden nicht ohne weiteres in ein anderes übertragen. Probleme tauchen dann bei widersprüchlichen Informationen auf. Zusätzlich zum Verlust von Daten aufgrund technischer Limitationen gibt es auch Firmen, welche die Daten als ihr Eigentum und ihre Expertise sehen und nicht gewillt sind, diese ohne weiteres mit anderen Teilnehmern zu teilen.

Neben dem Problem der Dopplung hat der Informationsverlust auch Auswirkungen auf die zeitlich später gelagerten Teile der Baukette. Dort sind Informationen, die aufgenommen wurden, nicht mehr verfügbar. Es kommt hier zu einem Bruch der Informationskette. Dieser ist in der Regel besonders gravierend nach dem Abschluss der Baumaßnahme. Dem Auftraggeber steht am Ende nur ein Bruchteil der vorhandenen Informationen zur Verfügung, welche für spätere Wartungsarbeiten allerdings einen großen Nutzen hätten.

Standards und proprietäre Datenformate

Weiterhin wurde genannt, dass Standards noch nicht den Anforderungen entsprechen. Der IFC-Standard beansprucht für sich, diese Probleme zu lösen. Problemstellen wurden hier in der Internationalität von IFC gesehen,

da auch internationale Bezeichnungen und Standards eingeflossen sind. Da diese aber nicht immer direkt auf die deutsche Baubranche übertragbar sind, gibt es hier eine gewisse Diskrepanz. Auch entspricht die Datengranularität nicht immer den Anforderungen der Anwender. Zum einen wurde oft eine mangelnde Anpassbarkeit der Daten bzw. deren Formate bemängelt, zum anderen ein zu großer Interpretationsspielraum. Da hier eine unterschiedliche Interpretation möglich ist, kann es zu Datenverlust kommen bzw. Daten sind nicht an der gewohnten Stelle zu finden. Hier ist insbesondere die Repräsentation von Daten in verschiedenen Bausystematiken schwierig.

Durch diese imperfekte Datenrepräsentation plädierten einige Teilnehmer daher dafür, nicht auf einen großen Standard zu setzen, sondern unterschiedliche, spezialisierte Datenformate einzusetzen. Standards und Normen werden als einschränkend wahrgenommen. Proprietäre Datenformate, die in den jeweiligen Softwarelösungen zu finden sind, werden präferiert, da diese genauer auf die Einzelanwendung zugeschnitten sind. Sie haben aber den oben angesprochenen Nachteil, dass sie beim unternehmensübergreifenden Datenaustausch zu Problemen führen.

Mangelhafte Datenqualität

Regelmäßig wurde nicht das Fehlen der Daten als Problem genannt, sondern die mangelnde Qualität. Wobei hierunter nicht nur zu verstehen ist, dass Daten ungenau oder fehlerhaft sind. Oft ist gerade die Aufbereitung mangelhaft, oder einzelne kritische Informationen sind nicht vorhanden.

Als Beispiel für fehlende kritische Informationen wurden Leitungen und Kabel genannt,

die nicht, oder nur mit großen Abweichungen, in Plänen vorhanden sind, aber zu großen Verzögerungen bei Bauarbeiten führen. Teilweise ist dies auf unvollständige und analoge Pläne zurückzuführen, teilweise allerdings auch auf Geheimhaltungsabkommen wie beispielsweise bei „NATO-Kabeln“, welche zur geheimen Datenübertragung zwischen NATO-Partnern verlegt wurden. So ist diese Herausforderung auch nur teilweise auf die Digitalisierung im Bau zurückzuführen oder von dieser zu lösen. Welche Daten überhaupt erhoben werden, wird in der Regel individuell zwischen zwei Teilnehmern entschieden und unterliegt nicht standardisierten Vorgehen. Hierdurch wird neben der Datenerhebung auch die Datenqualität reduziert, da nicht auf allgemein etablierte Verarbeitungsketten zurückgegriffen werden kann.

Große Datenmengen

Eine weitere Herausforderung betrifft die Datenmenge bzw. die Dateigrößen. So werden Daten häufig gesammelt, ohne dass ein klarer Anwendungsfall in Sicht ist. Dadurch entsteht eine große Menge an Daten, die sowohl aus semantischer als auch aus technischer Sicht den Austausch erschwert. Eine spätere Zuordnung oder Nutzung solcher Daten ist in der Praxis nur eingeschränkt möglich.

Außerdem wurde kritisiert, dass Pläne, insb. 3D-Modelle, schnell sehr groß werden und gängige Austauschmethoden wie E-Mail für große Dateien nicht mehr geeignet sind. Außerdem benötigt das Laden und ggf. das Konvertieren solcher Dateien in andere Formate sehr viel Zeit.

Datenbenennung und -historie

Im Kontext der Dateiverwaltung wurde bemängelt, dass es häufig keine definierte Namensgebung gibt. Dadurch werden Daten im

Laufe der Zeit unstrukturiert, selbst wenn sie zu Beginn eine geeignete Struktur aufgewiesen haben. Dies wird durch eine Nicht-Verwendung von CDEs bzw. deren nicht korrekte Verwendung begünstigt. Dies führt vor allem bei einer Umplanung oder bei der Verwendung der Dateien in einem anderen Projektkontext zu großen Schwierigkeiten.

Eine Funktion, die die wenigsten Softwarelösungen zur Verfügung stellen, ist eine allgemeine Versionskontrolle. In der Regel findet diese durch eine manuelle Benennung und einen Abgleich der Daten, die sich verändert haben, statt. Eine strukturierte Verwaltung, wie sie von aktuellen Versionskontrolltools im Softwarebereich angeboten wird, existiert nicht.

Ungeeignete Software

Bei der Umsetzung einer Software, welche die Probleme der Datenqualität und des Datenaustausches behebt, sehen manche Teilnehmer die Wissenschaft stärker in der Pflicht. So werden mehr Impulse bei der Entwicklung von Lösungen und bei der Heranführung von Studierenden an diese gefordert.

Gleichzeitig wurde von anderen Teilnehmern bemängelt, dass die Umsetzung von Softwarelösungen zu weit weg von den Anforderungen der Baubranche ist und Änderungen nur um der Software willen getätigt werden. Die Bedienung der Software ist oft praxisfern und nicht intuitiv für Nutzer aus der Baubranche. Eine hohe Lernkurve erschwert hier die Benutzung insbesondere bei kleineren Unternehmen, welche in der Regel keinen großen Spezialisierungsgrad ihrer Mitarbeiter haben. Teilweise werden Standards nicht in der Software abgebildet.

Die Vielzahl von Softwarelösungen erschwert neben dem Datenaustausch auch die Auswahl einer geeigneten Software. Dieses

Problem betrifft insbesondere kleinere Unternehmen. In der Regel können sich kleinere Unternehmen auch nicht die Vielzahl der benötigten Software-Tools leisten. Aus Zeit- und Kostengründen legen diese sich auf wenige Anwendungen fest, wodurch es zu einem noch schwierigeren Datenaustausch kommen kann. Hier besteht der Wunsch nach Zusammenarbeit über CDEs. Große Firmen haben hier auch die Möglichkeit, sich kundenspezifische Sonderwünsche einbauen zu lassen, was für kleine Firmen nicht rentabel ist. Hier entstehen teilweise noch weitere Eigenbaulösungen, welche wiederum noch schwieriger in bestehende Softwarelandschaften zu integrieren sind.

4.2 Personelle Herausforderungen

Personalmangel

Der Personalmangel in der Baubranche ist ein ungelöstes Problem, das die Branche seit einiger Zeit herausfordert. Viele Faktoren, wie zum Beispiel die Alterung der Belegschaft, die Abwanderung von Fachkräften in andere Branchen und eine unzureichende Nachwuchssicherung, haben zu einem Mangel an qualifizierten Arbeitskräften geführt. Dies hat Auswirkungen auf die Effizienz und die Kosten von Bauprojekten sowie auf die Fähigkeit der Branche, auf die wachsenden Anforderungen des Marktes zu reagieren. Es wird erwartet, dass dieses Problem in Zukunft weiter zunehmen wird. Es ist also wichtig, dass die Branche Maßnahmen ergreift, um den Personalmangel zu bewältigen.

Neben dem Mangel an gut ausgebildetem Nachwuchs, z. B. in Form von jungen Ingenieuren, stellen die Weiterbildungskosten eine Herausforderung für die Unternehmen dar. Zusätzlich werden Personen, die an einer Weiterbildung teilnehmen, in dieser Zeit aus dem Tagesgeschäft genommen, was die personelle Situation zusätzlich verschärft.

Bei der Stellenausschreibung gibt es zusätzlich noch das Problem, dass neue, durch die Digitalisierung hinzugekommene Berufsbezeichnungen noch nicht einheitlich festgelegt sind oder sich mit anderen Berufszweigen überschneiden. Durch Überschneidungen wie beispielsweise beim Dokumentenmanager, der in einem anderen Kontext ebenfalls in der Finanzbranche genutzt wird, wird die Profilbildung und Ausschreibung von Stellen mehrdeutig, was die Suche nach Personal zusätzlich erschwert.

Auch abseits der Baubranche existiert ein Personalmangel. Auf Seiten der Softwarehäuser fehlen Ressourcen, um die gestiegenen Nutzeranforderungen zu realisieren und mit Anwendern an besseren Softwarelösungen zu arbeiten. Dieses Problem wird noch dadurch verstärkt, dass die Softwarehersteller nicht die Kapazität haben, alle verfügbaren Datenformate in ihren Produkten zu unterstützen.

Unzureichendes Wissen der Mitarbeiter

Bei der Studie hat sich gezeigt, dass nicht alle Nutzer die Grundlagen für die Verarbeitung von Daten und die Nutzung von Programmen verinnerlicht haben. Beispielsweise gibt es Nachholbedarf bei der Strukturierung von Daten und der Nutzung von Standardsoftware. Weiterhin wird der Wert der erhobenen Daten und deren Pflege nicht von allen Mitarbeitern erkannt.

Bei den Interviews wurde bemängelt, dass Ausbildungen und Curricula an Universitäten den Anforderungen der Baubranche angepasst werden müssen. Beispielsweise werde BIM zwar oft als Industriestandard vorgestellt, allerdings fehle nicht nur die praktische Verwendung in der Lehre, sondern auch eine

passende Ausbildung der Lehrkräfte in diesem Bereich. Hierdurch fehlten grundlegende Erfahrungen beim Berufseinstieg.

Die fehlenden Lehrkräfte wurden auch im Zusammenhang mit Umschulungen von erfahrenen Mitarbeitern, z.B. von 2D- auf 3D-Konstruktion, bemängelt. Während neue Fachkräfte oft schon mit neuen Werkzeugen gearbeitet hätten, fehle ihnen die Resilienz, wenn die Software einmal nicht wie erwartet funktioniert oder Fehler bei der Verarbeitung der Daten auftreten.

Das Schulungsproblem wird durch die Vielzahl an neuen Programmen und miteinander nur eingeschränkt kompatiblen Einzellösungen weiter verstärkt. Aus diesem Grund wird eine Standardisierung gefordert, die nicht unterschiedlich interpretiert und implementiert werden kann.

Mangelndes Interesse an der Digitalisierung

Das mangelnde Interesse an der Digitalisierung ergibt sich aus einem Generationenbruch, dem Festhalten an alten Prozessen, dem Aufwand für die Einführung neuer Prozesse sowie der Ignorierung der Digitalisierung als Gewinntreiber.

Während die Führungsebene den Mehrwert der Digitalisierung sieht und daher die Digitalisierung vorantreiben möchte, fehlt noch die für die Umstellung benötigte Expertise. Die Integration von neuen Fachkräften erfolgt aufgrund des Fachkräftemangels nicht zügig genug, und durch eingeschränkte Ausbildungsmöglichkeiten ist auch die Weiterbildung von existierenden Fachkräften limitiert.

Das Festhalten an alten Geschäftsmodellen ist ein weiterer Hinderungsgrund für die Digi-

talisierung der Baubranche. Die Weiternutzung von existierenden Prozessen birgt noch ein geringeres Risiko als die Umstellung auf eine digitalisierte Arbeitsweise. Weiterhin verhindern auch aufwendige analoge Genehmigungsverfahren eine Modernisierung der Prozesse. Existierende digitale Prozesse werden durch einen Medienbruch und die Überführung in die analoge Welt drastisch verlangsamt und verkompliziert, bspw. durch Rechnungen und Unterschriften auf Papier. Ebenfalls problematisch ist das Festhalten an bekannten analogen Prozessen. Dies scheint unabhängig von einem Generationenkonflikt bei den Mitarbeitern zu erfolgen.

Die Umstellung auf eine digitale Arbeitsweise ist aufwendig und erfolgt über einen längeren Zeitraum. Daher hinterfragen Unternehmen eine mögliche Umstellung und beachten kaum die Vorteile einer digitalen Arbeitsweise. Da mit der Digitalisierung große Risiken verbunden werden, Einnahmen auch ohne Digitalisierung möglich sind und die Digitalisierung nicht als Gewinntreiber verstanden wird, erfolgt die Digitalisierung häufig mit geringer Priorität.

Fehlende Akzeptanz und Motivation

Die Akzeptanz für die Digitalisierung der Branche wird durch ein falsches Bild der Digitalisierung gehemmt. Diese Hemmung ergeben sich aus der Fragmentierung der verschiedenen Softwarelösungen, den Brüchen zwischen den Softwarelösungen sowie Mitarbeitern, die sich an etablierte Prozesse klammern, um keine Risiken (aber auch keine Erfolge) bei einer Umstellung tragen zu müssen. Weiterhin gibt es Mitarbeiter, die schlechte Erfahrungen bei der Digitalisierung von Projekten gemacht haben und sich daher eher kritisch gegenüber der Digitalisierung

positionieren. Hierbei spielen auch Brüche zwischen den Systemen eine tragende Rolle.

Außerdem hat der Bauboom der letzten Jahre dazu beigetragen, dass die Auftragsbücher voll sind. In der Folge haben die Unternehmen weniger Freiräume, aber auch wenig Motivation, sich mit strategischen Themen wie Digitalisierung zu beschäftigen.

4.3 Finanzielle Herausforderungen

Für Unternehmen entstehen im ersten Moment höhere Aufwände. Diese Aufwände beziehen sich auf die finanziellen Kosten sowie auf höhere personelle Mehraufwände.

Finanzielle Mehraufwände bestehen bei einigen Firmen bei der Beschaffung aktueller Hardware, wobei hier bei einigen Firmen ein erheblicher Investitionsstau besteht. Neben der Hardwareerneuerung müssen auch aktuelle Softwarelizenzen erworben werden, was insbesondere für kleinere Unternehmen eine finanzielle Hürde darstellt.

Neben den Anschaffungskosten müssen für ein digitales Bauvorhaben auch initial erhöhte personelle Mehraufwände geleistet werden. Insbesondere die anfängliche Modellierungsphase braucht viel Zeit. In der Praxis findet diese Planungsphase weitestgehend digital statt. Erheblich schwieriger wird es, wenn die generelle Belastung im Projekt steigt und kurzfristige Änderungen aufgrund von Planänderungen durchgeführt werden müssen. Hier werden im Regelfall nicht mehr alle Modelle angepasst, da dies, erschwert durch die verschiedenen Softwarelösungen, welche einen eigenen Import- und Export erfordern, ein erheblicher Zeitaufwand ist. Der digitale Prozess bricht danach zusammen und

könnte nur noch mit einem noch größeren Aufwand wieder gerettet werden.

Um diesen kritischen Punkt gar nicht erst zu erreichen, bräuchte es wiederum ein Umdenken bezüglich des Nutzens der Digitalisierung. Eigene Stellen, die nur für den digitalen Ablauf zuständig sind, müssten geschaffen werden. Oft sind hier aber höchstens temporäre Stellen vorhanden und keine permanenten, oder nur solche, die sich neben dem Tagesgeschäft um die Digitalisierung kümmern sollen. Für viele Unternehmen rechtfertigt der direkte Mehrwert der Digitalisierung nicht den finanziellen Mehraufwand.

4.4 Strukturelle Herausforderungen

Aus der Politik wird der Wunsch nach Digitalisierung vernommen, allerdings wird diese nicht gefordert. Damit fehlt ein klares Regelwerk, an dem sich Auftraggeber und -nehmer orientieren können. Zusätzlich hinken Behörden selbst stark bei der Digitalisierung und ihrer Planung hinterher. Dies zeigt sich durch fehlende verbindliche Meilensteine, aber auch bei der Übertragung von zeitgemäßen Datenformaten in veraltete und weniger mächtige Formate. Dies führt bis zum kompletten Medienbruch durch den Export oder Ausdruck von digital modellierten Daten.

Zusätzlich erschwert die unvollständige Abdeckung von Mobilfunknetzen und Internet den Austausch von digitalen Unterlagen. Für die anfallenden Datenmengen wird ein zuverlässiger und schneller Internetzugang benötigt, da es sonst zu erheblichen Verzögerungen durch die Übertragung der Daten kommt.

Datenhaltung, Datenschutz und Datennutzung

Die Bedenken der Baufirmen und Beteiligten bezüglich des Datenschutzes beziehen sich primär auf ein zu geringes Schutzniveau und eine unklare Rechtslage. Ein zu weitgreifender Datenschutz, der die digitale Arbeit behindert, wie man von polemischen Aussagen erwarten würde, wird nicht beobachtet.

Von einigen Teilnehmern der Studie wurden mehr Hilfestellungen beziehungsweise klarere Rechtsvorschriften gefordert. Relevante Aspekte für die Sicherheit der Daten beziehen sich aber hauptsächlich auf die Rechte und den Zugriff auf Daten. Da es sich in der Regel um größere Softwarelandschaften handelt, ist unklar, wer automatisch Zugriffsrechte an welchen Teilaspekten beispielsweise an einem Modell bekommt. Hier müssen extra Gemeinhaltungsvereinbarungen sowie Auftragsdatenverarbeitungsverträge mit den jeweiligen (Sub-)Lizenznehmern und Zulieferern getroffen werden. Auch sind in Modellen oft sicherheitskritische Aspekte und Bedenken des geistigen Eigentums unklar. Einzelne Teile können herauskopiert und wiederverwendet werden. Hierdurch kann ein Marktvorteil erhalten werden, beziehungsweise es kann aufgeholt werden. Dies behindert einen geeigneten Datenaustausch, da Firmen darauf bedacht sind, eine erworbene Expertise nicht so einfach preiszugeben. Gerade für international agierende Unternehmen gestaltet sich dies umso

schwieriger. Hier werden vermehrt regulatorische Standards gefordert.

Ein weiterer Aspekt der Rechtssicherheit ist auch die allgemeine Rechtsgültigkeit einer digitalen Unterschrift, welche noch nicht in allen Aspekten der Baubranche angeht.

In Einzelfällen wurde auch eine mögliche Leistungsüberwachung durch eine umfassende Dokumentation befürchtet.

Komplexe Vergabeverfahren

Laut einigen Teilnehmern der Studie erfolgen viele Vergaben mittlerweile elektronisch. Das ist gut, allerdings existieren zu viele unterschiedliche Plattformen und es gibt zu viele technische Probleme bei den Anwendungen. Kritisiert wurden „pseudo-digitale“ Bauanträge. Diese Anträge genügen leider nicht den Digitalisierungsanforderungen der Studienbeteiligten, da es lediglich möglich ist, einen Bauantrag als PDF einzureichen. Somit entfällt der vollständige digitale Verarbeitungsprozess und die Nachvollziehbarkeit über die Entwicklung.

Als problematisch werden auch die Unterschiede bei internationalen Aufträgen gesehen. Beispielsweise sollen Ausschreibungen im Nachbarland Frankreich durch andere Anforderungen anders funktionieren als in Deutschland. Hierbei seien die Entscheidungen und Unterschiede nicht immer nachvollziehbar.

5 Lösungsansätze

Wie kann man Digitalisierung vorantreiben?

Neben den Herausforderungen der Digitalisierung wurden im Rahmen der Interviews auch Lösungsansätze erkannt und erörtert. Die Ergebnisse lassen sich in die vier folgenden Kategorien aufteilen: Vorbilder und Motivation, Prozesse und Standards, Effizienz und Korrektheit sowie Visualisierung und Demonstration.

5.1 Vorbilder und Motivation

Die erste Art der aufgezeigten Lösungsansätze umfasst im Wesentlichen Positiv-Beispiele, die den Mitarbeitern aufzeigen, wie eine digitalisierte Welt die Baubranche zum Besseren verändern kann.

Vorbilder können auch Unternehmen sein. So haben große und bekannte Unternehmen mit einem angemessenen finanziellen Hintergrund die Möglichkeit, als Vorbilder für kleine und mittelständische Unternehmen zu agieren. Innovationen werden so vorangetrieben und Erfahrungswerte aufgezeigt. Ebenso können Personen als Vorbild fungieren und, indem sie eine digitale BIM-basierte Arbeitsweise leben, andere Mitarbeiter mitziehen. So können Skeptiker die Vorteile selbst erleben und positive Erfahrungen sammeln.

Neben der Vorbildfunktion vorhandener Mitarbeiter können auch neue Mitarbeiter frische Impulse setzen und neue digitale Ideen, beispielsweise aus dem universitären Umfeld, einbringen. Ähnliche Anregungen können auch gefördert werden, wenn Mitarbeiter zu Schulungen entsendet werden, die explizit auf die Digitalisierung der Baubranche eingehen. Hierzu müssen entsprechende Budgets geschaffen werden. Solche Budgets können auch genutzt werden, um etwaige Bonuszahlungen an Mitarbeiter weiterzugeben, die sich um die Digitalisierung verdient gemacht haben.

Um den so geschaffenen digitalen Antrieb zu bündeln und konkret voranzutreiben, können Fokusteams das Mittel der Wahl sein. Große strategische Entscheidungen werden so auf die beteiligten Mitarbeiter übertragen, die eine Entscheidung über das Budget haben können und durch die Miteinbeziehung in den Entscheidungsprozess eine größere Wertschätzung und Motivation erhalten. Die so geförderte Begeisterung für die Technik und die Digitalisierung hat das Potenzial, ein Unternehmen bottom-up zu revolutionieren und neue Wege gangbar zu machen.

Um die Bottom-up-Revolution in geeignete Bahnen zu lenken, kann eine Top-down-Priorisierung der Arbeiten eine Umsetzung strukturieren und den Mitarbeitern bei der Umsetzung den nötigen Rückenwind geben.

Auf einer höheren Ebene können neben den Unternehmen und den Personen auch der Auftraggeber und die Politik eine Vorbildfunktion verkörpern. Hierbei muss der Mehrwert der Digitalisierung aufgezeigt und aktiv eingefordert werden. Wenn die intrinsische Motivation zur Digitalisierung nicht hinreichend ist, empfehlen einige Studienteilnehmer die Verpflichtung hierzu. Die Verpflichtung zur Digitalisierung sollte umfänglich so gefordert und gefördert werden, dass der vollständige Bauprozess begleitet wird. In manchen Ländern (bspw. Baden-Württemberg) und Nationen (z.B. USA) wird die Digitalisierung des Bauprozesses schon bei der Ausschreibung verbindlich vorausgesetzt. Durch das Vorgeben von Rahmenbedingungen können so auch Bauherren in die Pflicht genommen werden und die Digitalisierung von Baufirmen kann in den Vordergrund rücken.

5.2 Prozesse und Standards

Für die praktische Umsetzung der Digitalisierung sind explizite Prozesse und Datenaustauschnittstellen zwischen den unterschiedlichen Anwendungen der Nutzer notwendig. Hierfür müssen durchgängige Datenverarbeitungsketten ohne Brüche zwischen den Medien geschaffen werden. Hierbei sollten die Daten sowohl von Menschen als auch von Maschinen gelesen werden können, um die Qualität sicherzustellen und die einzelnen Schritte nachvollziehen zu können. Bundesweit, besser noch international, vorgeschriebene Datenformate und Schnittstellen

haben das Potenzial, die Digitalisierung gezielt und einheitlich voranzutreiben. Daten werden zwar heute schon erhoben, aber eine Standardisierung kann einen Flaschenhals der Digitalisierung entfernen.

Digitale Plattformen bieten eine Möglichkeit, durchgängige Verarbeitungsketten zu implementieren. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass sie intelligenten Spielregeln unterliegen müssen, da sonst Informationen geteilt werden können, die für einzelne Gewerke nicht relevant sind. Hierdurch kann es zu einer gefühlten Mehrbelastung kommen, da die Zusatzarbeit als Arbeitsbeschaffungsmaßnahme bewertet werden könnte, und die Gebrauchstauglichkeit der Digitalisierung stagniert. Der digitale Datenaustausch muss von Beginn des Bauprozesses an berücksichtigt werden, damit alle Teilnehmer profitieren können. Hier müssen Plattformbetreiber und CDEs ihre Daten in einem standardisierten Format für die Weiterverarbeitung verfügbar machen, statt die Daten nur zentral zu aggregieren.

Zusätzlich zur Schaffung von Prozessen für die Digitalisierung der Baubranche sollten weitreichende Weiterbildungsangebote geschaffen werden, um die korrekte und praktische Anwendung zu schulen und Vorreiter bei der Digitalisierung sichtbar zu machen.

Ebenfalls sollten Best-Practices bezüglich der Digitalisierung dokumentiert und weitergegeben werden, da diese Vorgehensweisen eine Voraussetzung für die Verbreitung der Digitalisierung und deren korrekte Nutzung sind. Hierbei etablierte Prozesse sollten auf allen Baustellen oder ähnlichen Baustellenklassen verwendet, digital erfasst und untersucht werden.

5.3 Effizienz und Korrektheit

Einige Studienteilnehmer empfehlen, durch Monitoring von Kennzahlen die Effekte der Digitalisierung sichtbar zu machen, wodurch Mitarbeiter motiviert und Wettbewerbssituationen zwischen Unternehmen geschaffen werden können. In der Praxis kann hierbei jedoch ein entgegengesetzter Effekt auftreten, wenn sich Mitarbeiter überwacht fühlen oder wenn nur auf die Kennzahlen hin optimiert wird.

Eine erfolgreiche Umsetzung der Digitalisierung erfordert nicht nur die korrekte und umfassende Umsetzung der technischen Lösung, sondern auch eine hohe Benutzerfreundlichkeit. Akzeptanz und Verbreitung von digitalen Lösungen hängen wesentlich davon ab, wie einfach und intuitiv sie von den Nutzern bedient werden können. Ein Ansatz zur Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit besteht darin, viele kleine und einfache Probleme gezielt anzugehen und zu lösen, anstatt auf eine perfekte Lösung zu warten, die alle Probleme auf einmal löst. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist die Fehlertoleranz bei der Bedienung, d. h. die Möglichkeit, Fehler zu machen und diese ohne größere Auswirkungen zu korrigieren.

Zur Steigerung der Effizienz bei der Bearbeitung von sich wiederholenden einfachen Digitalisierungsaufgaben sollte in Zukunft auf Künstliche Intelligenzen gesetzt werden.

Durch die Anwendung von Simulationen können Kostenschätzungen durchgeführt werden, um die vorgeschlagene Arbeitsweise zu evaluieren.

5.4 Visualisierung und Demonstration

Die digitalisierten Informationen könnten durch die zuvor geforderten Schnittstellen an Werkzeuge zur Visualisierung und Simulation angedockt werden. Hierdurch können visualisierte Arbeitsschritte und Projektergebnisse mit Kooperationspartnern besprochen werden. Weiterhin können geplante (Zwischen-) Ergebnisse den Endkunden verständlich präsentiert werden, um diese davon zu überzeugen.

Eine Simulation der Arbeitsschritte kann potenzielle Stolpersteine bei der Umsetzung aufzeigen, bevor sie in der Realität auftreten. Hierdurch können frühzeitig Vorkehrungen getroffen werden, um widerstandsfähiger gegenüber unvorhergesehenen Problemen zu sein.

6 Fazit

Was sind unsere Schlussfolgerungen und Empfehlungen?

Mit dem Stufenplan des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV, ehemals BMVI) wurde ein wichtiger Impuls für die deutsche Bauwirtschaft zur Digitalisierung und flächendeckenden Einführung von Building Information Modeling (BIM) bei Infrastrukturprojekten gesetzt. Durch technologische Innovationen im Bereich der Sensorik sowie durch tiefgreifende Assistenzsysteme während der Planung, der Ausführung und des Betriebs wurde im vorangegangenen Forschungsprojekt Infra-Bau 4.0 (Aktenzeichen: DG 25-836.7/12) eine digitale Plattform entwickelt, die alle am Bau Beteiligten mit ihren Systemen, Daten und Prozessen digital abbildet und zu einem digitalen Ökosystem vernetzt. Die Plattform dient als zentraler Datenbroker für Planänderungen und Fortschrittsinformationen während der Bauausführung. Ihre primäre Aufgabe ist es, Informationen aufzunehmen, zu harmonisieren und entsprechend der Bauhierarchie über die angebundenen Software-Tools an die am Bau beteiligten Unternehmen zu verteilen. Im Sinne der angestrebten Offenheit der Plattform war es wichtig, dass die Plattform nicht in Konkurrenz zu bereits bestehenden Werkzeugen steht und die Baubeteiligten ihre Softwarewerkzeuge frei wählen können.

Unter dem Titel „Digitales Baumanagement“ (DiCoMa) wurden die in diesem Vorgängerprojekt entwickelten Funktionalitäten und Werkzeuge gemeinsam mit Akteuren der

Bauwirtschaft an einer realen Baustelle (Kleinbaumaßnahme im Infrastrukturbereich der Stadt Kaiserslautern) auf ihre Praxistauglichkeit und Anwenderfreundlichkeit evaluiert. Die Baumaßnahme wurde bewusst klein gehalten, um innerhalb der kurzen Projektlaufzeit den kompletten Bauablauf der Maßnahme von der Arbeitsvorbereitung bis zum Projektabschluss simulieren und analysieren zu können. Mittels durchgeführter Interviews mit den Führungsebenen (Projektleiter, Bauleiter, Polier) auf Auftragnehmerseite und ausgewählten Projektbeteiligten auf Auftraggeberseite wurde das Ökosystem von Infra-Bau 4.0 mit den entwickelten Funktionalitäten gemeinsam mit den Forschenden, aber auch teilweise eigenständig, in der Praxis getestet. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden die in Infra-Bau 4.0 entwickelten Konzepte und Funktionalitäten in Arbeitspaket 1 wissenschaftlich evaluiert.

Mit dieser Studie, die in Arbeitspaket 2 durchgeführt wurde, sollen die gewonnenen Erkenntnisse zum Stand der Digitalisierung und Vernetzung der Baubranche anderen Forschungseinrichtungen und der Industrie zur Verfügung gestellt werden. Ziel ist es, damit einen Mehrwert für die Digitalisierung in kleinen und mittelständischen Unternehmen zu leisten. Die konkreten Ergebnisse des Forschungsprojekts DiCoMa werden im Folgenden genauer beleuchtet.

Die Bauwirtschaft ist im Vergleich zu anderen Branchen durch einen geringen Digitalisierungsgrad und eine geringere Produktivität gekennzeichnet. Darüber hinaus fehlt es in der Bauwirtschaft an Fachkräften sowohl im Bereich der Planung als auch der Baurealisierung. Es kann erwartet werden, dass durch eine konsequente Umsetzung von Digitalisierungsbestrebungen Ineffizienzen in Planung und Baurealisierung vermieden werden können und darüber hinaus die Attraktivität bau-spezifischer Berufe insbesondere im gewerblichen Bereich erhöht wird. Um die Vorteile der Digitalisierung in vollem Umfang nutzbar machen zu können, müssen digitale Methoden über den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie durchgängig angewendet werden können. Digitalisierung darf nicht nur allein auf die Planung beschränkt sein, sondern muss auch in der Baurealisierung Anwendung finden und schließlich auch im Gebäudetrieb genutzt werden können. Diesbezüglich sind, wie unsere Studie ergeben hat, noch erhebliche Anstrengungen in diesem Bereich notwendig. Als wesentliche Ergebnisse der Studie kann festgehalten werden:

Die Expertenbefragungen haben ergeben, dass eine große technische Herausforderung in der Beseitigung von Inkompatibilität im Bereich des Datenaustauschs besteht. Eine Standardisierung der Daten beziehungsweise einheitliche Datenaustauschformate sind Voraussetzung für eine breite Anwendung der entsprechenden Software-Tools. Proprietäre Datenformate behindern die flächendeckende Anwendung digitaler Methoden über

den gesamten Lebenszyklus von Bauobjekten.

Als weiteres wesentliches Problem bei der breiten Einführung und Anwendung digitaler Methoden in der Bauwirtschaft wurde die mangelhafte Kompetenz der beteiligten Akteure gesehen. Hier stellt sich die Aufgabe, dass nicht nur in der Hochschulausbildung der Architekten und Ingenieure digitale Methoden als Lehrinhalte noch weiter und intensiver vermittelt werden müssen, sondern auch die bereits in den Planungsbüros und ausführenden Unternehmen Beschäftigten entsprechend weiter zu qualifizieren sind. Die Vermittlung digitaler Inhalte und Methoden muss dabei jedoch auch gewerbliche bzw. nicht-akademische Mitarbeiter und kleinere Handwerksbetriebe integrieren.

Als ein wesentliches drittes Ergebnis bezüglich der Hemmnisse bei der Einführung digitaler Methoden in der Bauwirtschaft wird die unzureichende Vergütung des derzeit noch erwartbaren Mehraufwandes bei der Planung und Ausschreibung von Bauleistungen unter Anwendung digitaler Methoden gesehen. Derzeit findet häufig eine parallele Nutzung konventioneller und digitaler Methoden statt, was zu Ineffizienzen, Mehraufwendungen und schließlich zu Verschwendung führt. Ursache hierfür sind Inkompatibilitäten bei den technischen Voraussetzungen und Kompetenzen zwischen den beteiligten Akteuren in einem Bauprojekt. Insbesondere die öffentliche Hand hat diesbezüglich erhebliche Defizite.

6.1 Handlungsempfehlungen für die Baubranche

Um möglichst ohne weitere Verzögerungen die Digitalisierung in der Bauwirtschaft voranzutreiben, wird Folgendes empfohlen:

- Vermeidung proprietärer Datenaustauschformate bzw. Softwarelösungen.
- Schaffung von IFC-Standards auch für den Infrastrukturbereich, den Tiefbau beziehungsweise die Wasserwirtschaft und andere.
- Schaffung finanzieller Anreize und Unterstützungsangebote für kleine bzw. handwerkliche Betriebe mit dem Ziel der Einführung und sicheren Anwendung digitaler Methoden. In den Ausbildungsberufen müssen digitale Kompetenzen und der sichere Umgang der im Baualltag angemessenen Software-Tools vermittelt werden.
- Gerade auch die öffentlichen Bauherren sollten Bauprojekte, d.h. Genehmigungen, Planungen und Ausschreibungen von Bauleistungen mit digitalen Methoden durchführen. Die gesetzliche Vorgabe dafür ist bereits vorhanden. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass es nicht zu Wettbewerbsverzerrungen kommt: Kleine und mittelständische Unternehmen sind tendenziell weniger gut digitalisiert als Konzerne. Dies gilt es auf lange Sicht zu ändern.

Zur systematischen Digitalisierung in der Bauwirtschaft gibt es keine einfachen bzw. allgemeingültigen Handlungsempfehlungen. Wichtig ist jedoch, dass bei allen Akteuren in allen Phasen der Wertschöpfung eines Bauprojekts ggf. bestehende Vorbehalte und Ängste bei der Anwendung digitaler Methoden ausgeräumt werden. Dieser Prozess der Einführung digitaler Methoden wird nicht

disruptiv stattfinden, sondern muss kleinschrittig geschehen, um alle Akteure mitnehmen zu können. Dabei dürfen auch die späteren Nutzer einer Immobilie nicht ausgespart werden. Grundvoraussetzung für den nachhaltigen Erfolg der Digitalisierung ist jedoch, dass es keine Schnittstellenprobleme bei der Datenübertragung innerhalb einer Software-Umgebung gibt. Diesbezüglich sei an dieser Stelle auf die Ergebnisse des Projekts Infra-Bau 4.0 verwiesen. Dabei bilden die nachfolgenden Punkte aus unserer Sicht die Basis für die nachhaltige Implementierung der Digitalisierung innerhalb der Baubranche.

Mitarbeiter weiterbilden: Um die Digitalisierung in der Bauwirtschaft voranzutreiben, sind auch entsprechende Kompetenzen bei den Beschäftigten, allen voran den kleinen Handwerksbetrieben, erforderlich. Unternehmen sollten daher gezielte Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen anbieten, um die digitalen Kompetenzen der Mitarbeiter zu stärken.

Standards schaffen: Um die Digitalisierung in der Bauwirtschaft erfolgreich umzusetzen, sollten Unternehmen klare Prozesse und Standards schaffen, die den Umgang mit digitalen Technologien und Prozessen regeln. Dies können beispielsweise Standards für die Datenübertragung oder die Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen sein.

Verstärkt mit Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten: Die Digitalisierung der Bauwirtschaft erfordert auch eine verstärkte Zusammenarbeit mit der Forschung. Unternehmen sollten daher gezielt Kooperationen mit Forschungseinrichtungen suchen, um den Austausch von Know-how und Erfahrungen zu fördern.

6.2 Handlungsempfehlungen für Politik und Verwaltung

Die Digitalisierung des Bauwesens bietet bereits heute zahlreiche Chancen und Potenziale, um Prozesse effizienter, schneller und kostengünstiger zu gestalten. Um diese Potenziale voll auszuschöpfen, sollten Politik und Verwaltung aus unserer Sicht die folgenden Handlungsempfehlungen berücksichtigen:

Digitalisierungsprojekte fördern: Politik und Verwaltung sollten die Entwicklung und Umsetzung von Digitalisierungsprojekten in der Bauwirtschaft gezielt unterstützen und fördern. Hierzu können beispielsweise Förderprogramme aufgelegt werden, die Unternehmen bei der Einführung neuer digitaler Technologien und Prozesse finanziell unterstützen.

Rechtliche Rahmenbedingungen schaffen: Um die Digitalisierung der Bauwirtschaft voranzutreiben, sind klare und einheitliche rechtliche Rahmenbedingungen notwendig. Politik und Verwaltung sollten sich daher dafür einsetzen, dass auf nationaler und europäischer Ebene entsprechende Regelungen geschaffen werden, die beispielsweise den

Umgang mit digitalen Planungs- und Bauprozessen regeln.

Digitale Kompetenzen stärken: Um die Digitalisierung in der Bauwirtschaft voranzutreiben, sind auch entsprechende Kompetenzen bei den Beschäftigten notwendig. Politik und Verwaltung sollten daher gezielte Maßnahmen ergreifen, um die digitalen Kompetenzen der Beschäftigten in der Baubranche zu stärken. Hierzu können beispielsweise Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen angeboten werden.

Kooperationen fördern: Die Digitalisierung des Bauwesens erfordert auch eine verstärkte Zusammenarbeit verschiedener Akteure. Politik und Verwaltung sollten daher gezielt Kooperationsprojekte zwischen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und anderen relevanten Akteuren anregen und unterstützen, um den Austausch von Know-how und Erfahrungen zu fördern.

Anreize schaffen: Um die Unternehmen der Bauwirtschaft für die Digitalisierung zu motivieren, sollten Politik und Verwaltung gezielt Anreize schaffen. Dazu können beispielsweise steuerliche Vorteile geschaffen werden.

Referenzen

Wo kann ich mehr erfahren?

- [1] G. Kostka und N. Anzinger, *Large Infrastructure Projects in Germany – Between Ambition and Realities*, Hertie School of Governance unterstützt von der Karl Schlecht Stiftung (KSG), 2015.
- [2] Infra-Bau 4.0 Projektkonsortium, 21.04.2023. [Online]. Available: <https://www.infra-bau.com/>.
- [3] J. H. Kang, S. D. Anderson und M. J. Clayton, „Empirical Study on the Merit of Web-Based 4D Visualization in Collaborative Construction Planning and Scheduling,“ *Journal of Construction Engineering and Management* Vol. 133, Issue 6, pp. 447-461, 2007.
- [4] J. E. Kelley und M. R. Walker, „Critical-path planning and scheduling,“ in *Eastern joint IRE-AIEE-ACM computer conference*, 1959.
- [5] D. G. Malcolm, C. E. Roseboom, C. E. Clark und W. Fazar, „Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation,“ *Operations Research*, pp. 646 - 669, 1959.
- [6] S. M. Easa, „Resource Leveling in Construction by Optimization,“ *Journal of construction engineering and management*, pp. 302-316, 1989.

Diese Studie entstand im Rahmen des vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) geförderten Projekts „Digital Construction Management“ und wurde durch die Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern (RPTU), das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE), das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM), die Science and Innovation Alliance Kaiserslautern (SIAK) und buildingSMART Deutschland durchgeführt.