



32. BBB-Assistent:innentreffen  
04.-06.10.2023  
Universität Duisburg-Essen  
Glaspavillion

# **Tagungsband zum 32. BBB-Assistent:innentreffen**

04.10.2023 - 06.10.2023, Universität Duisburg-Essen

2023

## Impressum

**Tagungsband zum 32. BBB-Assistent:innentreffen: 04.10.2023 - 06.10.2023, Universität Duisburg-Essen.**

**Herausgeber:** Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abteilung Bauwissenschaften, Institut für Baubetrieb und Baumanagement.

Oktober 2023

DOI: <https://doi.org/10.17185/duepublico/78941>

**Veröffentlichende Institution:**

Universität Duisburg-Essen  
Universitätsbibliothek, DuEPublico  
Universitätsstraße 9-11  
45141 Essen  
<https://duepublico2.uni-due.de>

Tagungsbeiträge: ©2023 die Autorinnen und Autoren. Es gelten die in den einzelnen Tagungsbeiträgen genannten Rechte/Lizenzen.

## Vorwort

Die 32. Auflage des BBB-Assistent:innentreffen fand vom 04. bis 06. Oktober 2023 an der Universität Duisburg-Essen statt und wurde vom Institut für Baubetrieb und Baumanagement ausgerichtet. Die Tagung behandelte die neusten Entwicklungen und Trends im Bereich des Baubetriebs und des Baumanagements. Hierbei ging es unter anderem um die Automatisierung und die Digitalisierung im Bausektor sowie um Building Information Modeling, Bauverfahrenstechnik und Nachhaltigkeit.

Das Ziel der Tagung ist die Präsentation der aktuellen Forschungsarbeiten von den teilnehmenden Promovierenden und wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen aus der deutschsprachigen DACH-Region. Weiterhin soll den Teilnehmenden eine Möglichkeit zum Austausch und zur Vernetzung mit anderen Fachinteressierten der behandelten Themengebiete gegeben werden. In dem folgenden Tagungsband sind die vorgestellten Beiträge der Fachtagung zusammengestellt.

## Beiträge

Bommhardt, Jannik .....	Seite 1
<i>Bedeutung von Kundenanforderungen bei der Wahl der Unternehmereinsatzform</i>	
Bienkowski, Natalia; Wagner, Johann; Härtel, Florian; Herdan, Annika; Kleinschrot, Katharina .....	Seite 9
<i>Bauingenieurinnen seit 1928 – ausgewählte Ergebnisse des Projektes Vision2028</i>	
Waleczko, Dominik; Lich, Kristina .....	Seite 13
<i>Auswirkungen von psychischen Belastungen in der Bauindustrie</i>	
Compagnone, Philipp .....	Seite 21
<i>Bewertung von Techniken für die Ermittlung von Nutzeranforderungen an Bauwerken</i>	
Klopper, Veit; Wiel, Romy .....	Seite 30
<i>Handhabbarkeit dünnwandiger Bauteile aus Carbonbeton</i>	
Dorn, Charlotte .....	Seite 37
<i>Potenziale zur Verlängerung der Gesamtnutzungsdauer von Gebäuden</i>	
Haag, Phillip.....	Seite 45
<i>Ökonomische Qualität als Bestandteil eines ganzheitlichen Qualitätsmodells für die Bauplanung und -realisierung</i>	
Jäkel, Jan-Iwo; Jahnke, Christoph; Meyer Westphal, Markus .....	Seite 53
<i>Immersive Besprechungen im Lebenszyklus von Gebäuden auf Basis von digitalen BIM-Modellen</i>	
John, Paul Christian; Schilling Miguel, Ana.....	Seite 62
<i>Proaktive Gestaltung und Steuerung der Kultur in Bauvorhaben als Aufgabe des bauherrnseitigen Projektmanagements</i>	
Helmus, Manfred; Becker, Robin; Roetmann, Nane .....	Seite 70
<i>Moderne Arbeitsmodule in der Baupraxis: Über den Validierungserfolg entwickelter Arbeitsmodule der Bergischen Universität Wuppertal</i>	
Mischke, Janik .....	Seite 75
<i>SafeCon3D – Automatisiertes Assistenzsystem für Baustellengeräte</i>	
Edenhofner, Fabian .....	Seite 82
<i>Generative Chatbots zur Unterstützung bei der BIM-Anwendung</i>	
Seiß, Sebastian; Lünig, Jan Niklas .....	Seite 92
<i>Ein ontologisches Modell zur Unterstützung der digitalen Prüfplanung in der Bauausführung (OCQA)</i>	
Weingarten, Frederic; Wentzek, Daniel .....	Seite 102
<i>Effizienzsteigerung des Bauprojektmanagements durch Implementierung digitaler Workflows</i>	
Matthei, Jonathan .....	Seite 110
<i>Untersuchungen zur Akzeptanzsteigerung komplexer Infrastrukturprojekte mittels digitaler Methoden</i>	
Middelhoff, Nils; Placzek, Gerrit .....	Seite 118
<i>Modellbasierte Simulation von Bevorratungsstrategien als Teil der Baulogistikplanung</i>	

John, Paul Christian; Weissinger, Marcel Max .....	Seite 127
<i>Konzeption eines Projektbeteiligten-Feedbacksystems zur Verbesserung der menschlichen Leistungserbringung bei der Bauprojektentwicklung</i>	
Halter, Julian; Erdogan, Melike .....	Seite 135
<i>Akzeptanz und Verbreitung digitaler Technologien bei der Bauausführung</i>	
Friedinger, Carl Philipp; Becker, Simon Christian .....	Seite 143
<i>Early Contractor Involvement für öffentliche Auftraggeber – Chancen für eine effizientere Projektentwicklung</i>	
Schmidt, Benedikt; Auch, Natalie; Geppert, Fabian .....	Seite 150
<i>Konzeption der Wirtschaftlichkeitsbewertung von komplexen Bauprojekten in Abhängigkeit von der Projektentwicklungsform</i>	
Becker, Simon Christian; Friedinger, Carl Philipp .....	Seite 159
<i>Analyse potenzieller Vergütungsmodelle und Anreizsysteme für die Integrierte Projektentwicklung (IPA)</i>	
Ehmann, Dominik .....	Seite 171
<i>Geschäftsmodelle von Projektentwicklungsunternehmen</i>	
Schrader, Marie-Christin .....	Seite 178
<i>Auswirkungen der Vorfertigung auf die Arbeitsproduktivität am Beispiel von Stahlbetondecken</i>	
Schöttler, Till; Helmus, Manfred .....	Seite 187
<i>Ausgewählte Nachhaltigkeitsaspekte und Effizienzpotenziale von Deckenkonstruktionen</i>	

# Bedeutung von Kundenanforderungen bei der Wahl der Unternehmereinsatzform

## Significance of customer requirements in selecting contractor delivery model

Jannik Bommhardt (ORCID: 0009-0004-7539-366X), Technische Universität Braunschweig, Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Schleinitzstraße 23 A, 38106 Braunschweig, [j.bommhardt@tu-braunschweig.de](mailto:j.bommhardt@tu-braunschweig.de)

### Kurzfassung

Seit Jahresbeginn verzeichnet der Hochbau einen starken Rückgang der Auftragseingänge. Der Auftragsrückgang führt zu einem verschärften Wettbewerb und einer größeren Marktmacht der Kunden. Für Bauunternehmen ist es aus strategischer Sicht daher entscheidend, sich an die veränderten Kundenanforderungen anzupassen. Dies erfordert sowohl eine Auseinandersetzung mit den grundsätzlichen Anforderungen der Kunden als auch das frühzeitige Erkennen von Veränderungen. In diesem Beitrag wird aufgezeigt, dass Kundenanforderungen nicht statisch sind, sondern sich aufgrund verschiedener Einflussfaktoren verändern. Dies wird anhand der unterschiedlichen Anforderungen der Kunden bei der Wahl der Unternehmereinsatzform verdeutlicht. Um die bestehenden Zusammenhänge abzuleiten, wird die Szenario-Technik als strategische Methode beispielhaft für die Umweltfaktoren Kosten und Komplexität angewendet. Vor dem Hintergrund des aktuellen, dynamischen Marktumfeldes wird die Notwendigkeit einer vertieften Auseinandersetzung durch Bauunternehmen mit den Kundenanforderungen aus strategischer Sicht deutlich.

### Abstract

Since the beginning of the year, the construction sector has recorded a sharp decline in orders. The decline in orders is leading to increased competition and an increased market power of the customer. From the construction company's strategic managements point of view, it is therefore crucial to adapt to changing customer requirements. This requires both an analysis of the basic requirements of customers and the early recognition of changes. This article shows that customer requirements are not static, but can change as a result of various influencing factors. This is illustrated on the basis of the different requirements of the customers with the choice of the entrepreneur employment form. In order to derive the existing interrelationships, the scenario technique is applied as a strategic method exemplarily for the environmental factors cost and complexity. Against the background of the current dynamic market environment, the strategic necessity of an in-depth examination of customer requirements from the perspective of the construction industry becomes clear.

### 1 Einleitung

Die Bau- und Immobilienwirtschaft steht nach vielen Jahren des Aufschwungs vor einer Vielzahl von Herausforderungen. Insbesondere die Covid-Pandemie und der russische Angriffskrieg in der Ukraine führten zu unterbrochenen Lieferketten und steigenden Energiepreisen. Auf die hieraus resultierende national als auch international hohe Inflation reagierten die Zentralbanken mit einer Erhöhung der Zinsen, die in Kombination mit den hohen Baupreisen den Aufschwung der Baubranche vorerst beendete. Seit Beginn des Jahres kommt es zu massiven Rückgängen der Auftragseingänge. Der Rückgang beläuft sich bspw. für den Hochbau real auf 20,2 % für den Zeitraum von Januar bis Juni. [1]

Durch die vielen kurzfristigen und unvorhersehbaren Entwicklungen der letzten Jahre war innerhalb der Bauunternehmen ein reaktives und damit kurzfristiges (Krisen-)Management notwendig, um negative Folgen zu minimieren. Eine strategische Auseinandersetzung mit zukünftigen Entwicklungen und Berücksichtigung relevanter Einflussfaktoren für langfristige Planungen wurden dadurch vernachlässigt.

Aus (Bau-)Unternehmenssicht ist diese Auseinandersetzung allerdings notwendig, um langfristig erfolgreich am Markt bestehen zu können. Dies betrifft insbesondere die Auseinandersetzung mit den (zukünftigen) Anforderungen der Kunden. Dieser Beitrag setzt sich daher mit den Kundenanforderungen bei der Wahl der Unternehmereinsatzform auseinander. Dabei wird eine Methodik zur

DOI: 10.17185/dupublico/79126



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Lizenz (CC BY-NC-SA 4.0)

Untersuchung potenzieller Auswirkungen externer Einflussfaktoren erläutert und beispielhaft angewendet.

## 2 Kundenanforderungen bei der Wahl der Unternehmereinsatzform

In der Bauwirtschaft wird zwischen verschiedenen Unternehmereinsatzformen differenziert. Diese unterscheiden sich in dem durch das Bauunternehmen erbrachten Leistungsumfang und dem Zeitpunkt der Auftragserteilung. Dadurch soll den verschiedenen Leistungsanforderungen der Kunden (Auftraggeber) bestmöglich entsprochen werden. Die Leistungsanforderungen unterscheiden sich in der durch das Bauunternehmen zu erbringenden Planungs- und Ausführungsleistungen.

### 2.1 Unternehmereinsatzformen in der Bauwirtschaft

Grundsätzlich ist innerhalb der Branche zwischen Einzel bzw. Fach-, General- und Totalunternehmen zu differenzieren. General- und Totalunternehmen können zudem als General- und Totalübernehmer fungieren, sollten durch das jeweilige Unternehmen keine Eigenleistungen im Zuge der Bauausführung erbracht werden. [2]

Die Vergabe an Fachunternehmen stellt hingegen die Regel dar. Insbesondere öffentliche Auftraggeber, die Leistungen gemäß VOB/A vergeben müssen, sind nach § 5 Abs. 2 VOB/A dazu verpflichtet, diese als Teilleistungen an Fachunternehmen zu vergeben. Auftraggeber untergliedern die gesamte Bauleistung hierfür in Fachlose.

Fachunternehmen führen die Leistung größtenteils selbst aus, wobei in der Praxis auch die Vergabe von Teilleistungen an Nachunternehmer (NU) üblich ist. Ein direktes Vertragsverhältnis zwischen AG und NU besteht nicht. [2]

Während die öffentliche Hand nur in Ausnahmefällen auf die Trennung in Fachlose verzichten kann (vgl. § 5 Abs. 2 VOB/A), steht privaten AG diese Möglichkeit grundsätzlich immer offen und kommt daher häufig zur Anwendung.

Die Bündelung der gesamten Bauleistung durch den AG erfolgt dabei für eine Vergabe an einen Generalunternehmer (GU). Dieser verpflichtet sich die Ausführung gesamten Baumaßnahme zu übernehmen. [3] Ein GU wird als Teil-Generalunternehmer (Teil-GU) bezeichnet, wenn der AG anstatt der gesamten Bauleistung lediglich mehrere Fachlose gebündelt vergibt. Diese können bspw. anhand verschiedener Gewerkegruppen wie Rohbau, Gebäudehülle, Gebäudetechnik (TGA) und Ausbau vergeben werden.

In der Theorie wird zwischen dem GU und Generalübernehmer (GÜ) differenziert, wobei der GU einen wesentlichen Teil der Auftragsleistung selbst erbringt und der GÜ

die komplette Bauleistung an NU vergibt. [4] In der Praxis ist diese Differenzierung jedoch weniger verbreitet. Allerdings sinkt der Anteil der Personalkosten im Bauhauptgewerbe stetig, während der Anteil der NU-Leistungen zunimmt. [5] Bauunternehmen vergeben somit immer mehr Leistungen weiter und entwickeln sich tendenziell zu GÜ. Aus Kundensicht ist es jedoch häufig nicht von Relevanz, ob das Unternehmen als GU oder GÜ auftritt, da der Kunde in keinem Vertragsverhältnis zu den NU steht. Im Folgenden wird daher der in der Praxis übliche Begriff des GU verwendet.

Grundsätzlich bleibt bei der klassischen Definition des GU die Trennung von Planung und Ausführung bestehen. Neben der kompletten Bauleistung kann der Kunde allerdings auch einen Teil der Planungsleistung an den GU vergeben. Die gängigste Variante ist dabei, die LPH 5 der HOAI (Ausführungsplanung) zusätzlich an den GU zu vergeben. [6] Außerdem wird in der Literatur auch die Vergabe der Entwurfs- und Genehmigungsplanung an den GU teilweise zugeordnet, wobei hier eine klare Trennung zum Totalunternehmer (TU) verschwimmt. [6–8]

Bei einem TU vergibt der Kunde sowohl den Großteil der Planungsleistungen als auch die vollständige Bauleistung an einen Auftragnehmer (AN). Der TU agiert somit als Generalplaner und -unternehmer. Die Leistungen können durch den TU selbst ausgeführt oder an NU weitervergeben werden. Auch hier existiert in der Theorie die Differenzierung zwischen TU und Totalübernehmer (TÜ). [4] Analog zur Erläuterung oben wird im Folgenden die Bezeichnung TU verwendet.

Der Leistungsumfang der jeweiligen Unternehmereinsatzformen ist schematisch in Bild 1 zusammengefasst.

	Planungsphase			Ausführungsphase							
	Grundlagen/Vorplanung	Entwurf-/Genehmigungsplanung	Ausführungsplanung	Rohbau		Hülle		TGA		Ausbau	
				FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
<b>Fachunternehmer</b>											
<b>Teil-Generalunternehmer</b>											
<b>Generalunternehmer</b>											
<b>Totalunternehmer</b>											

Leistung AG
  Leistung AN
  evtl. Leistung AN
  FL
  Fachlos

Bild 1 Leistungsumfang Unternehmereinsatzformen

### 2.2 Kundenanforderungen an die Unternehmereinsatzformen

Kunden der Bauwirtschaft müssen sich bereits in der Planungsphase, spätestens aber vor der Durchführung des Vergabeverfahrens für die Bauleistungen für eine der beschriebenen Unternehmereinsatzformen entscheiden. Neben der Unternehmereinsatzform haben im Zuge dessen auch die Art der Leistungsbeschreibung, die gewünschten Vertragsart sowie die Wettbewerbsform einen Einfluss auf die spätere Projektorganisation. Diese stehen



hinsichtlich der Kundenanforderungen in gegenseitigen Wechselbeziehungen zueinander. [9] Für öffentliche Auftraggeber definiert bspw. die VOB/A die wesentlichen Anforderungen, während private Kunden die Projektorganisation freier gestalten können.

Für die Wahl der Unternehmereinsatzformen sind aus Kundensicht verschiedene Anforderungen von Relevanz, die durch die Leistungsangebote der jeweiligen Unternehmereinsatzformen abgedeckt werden sollen. Für die Auswahl der Unternehmereinsatzform aus Bauherrensicht entwickelte Racky 2009 eine „Zielgrößenmatrix aus Bauherrensicht zur Auswahl der Unternehmereinsatzform“ für die Bauindustrie. [10] Diese kann auch als eine Darstellung von verschiedenen Kundenanforderungen interpretiert werden. Dabei werden die Unternehmereinsatzformen im Hinblick auf die jeweiligen Anforderungen der Kunden bewertet:

#### Einsatzmöglichkeit eigener Ressourcen

Kunden, die über eigene Ressourcen und Kompetenzen zur Abwicklung von Bauprojekten im Hinblick auf das Projektmanagement verfügen, können diese in der Vergabe an Fachunternehmen bestmöglich einsetzen. Der kundenseitige Aufwand reduziert sich hingegen durch eine GU-Vergabe, da sich die Menge an Schnittstellen für die Ausführung auf einen Ansprechpartner konzentriert. Durch die zusätzliche Vergabe von Planungsleistungen reduziert sich die Einsatzmöglichkeit weiter und ist somit beim TU am geringsten. [10]

#### Einflussmöglichkeit auf die Planung

Die Einflussmöglichkeit auf die Planung ist bei einer Trennung von Planung und Ausführung beim Einsatz von Fachunternehmen, Teil-GU und den GU ohne Ausführungsplanung identisch. Durch die Übergabe von Planungsleistungen nimmt diese Einflussmöglichkeit ab und reduziert sich weiter, je mehr Leistungsphasen und damit planerische Freiheitsgrade an das Bauunternehmen übertragen werden. Allerdings übernimmt das Bauunternehmen dadurch auch Risiken, die aus der Schnittstelle zwischen Planung und Ausführung entstehen können. [10]

#### Minimierung der Projektdauer

Eine Minimierung der Projektdauer ist aus Kundensicht wünschenswert. Diese ist insbesondere bei der GU-Vergabe ohne Ausführungsplanung schwer umzusetzen und resultiert aus der Notwendigkeit einer (im Idealfall) fertigen Ausführungsplanung zum Beginn der Ausschreibung. Bei der Vergabe an Fachunternehmer hat der Kunde hingegen die Möglichkeit, die Vergaben gestaffelt entsprechend des Planungsstands zu optimieren und somit die Projektdauer zu reduzieren. [6] Bei der Übergabe von Planungsleistungen an das Unternehmen kann der Kunde wiederum das bauunternehmerische Fachwissen nutzen, um auf Basis einer gesamtheitlichen Betrachtung die

Planung und Ausführung im Hinblick auf die Projektdauer zu optimieren. [10]

#### Minimierung des Terminrisikos

Trotz der Potenziale zur Minimierung der Projektdauer bleibt das Terminrisiko bei der Vergabe an Fachunternehmer aus Kundensicht am höchsten, da bei einem Verzug von bspw. Vorleistungen das Schnittstellenrisiko weiterhin beim AG liegt. Dieses Risiko wird durch die Vergabe an einen Teil-GU vermindert und bei einem GU ohne Ausführungsplanung weiter reduziert, da dieser einen Fertigstellungstermin für die gesamte Baumaßnahme schuldet und somit das Schnittstellenrisiko übernimmt. Weitere Terminrisiken bspw. aufgrund von fehlerhafter oder verspätet übergebenden Planungsunterlagen können durch die Vergabe von weiteren Planungsleistungen an das Bauunternehmen minimiert werden. [10]

#### Minimierung des Kostenrisikos

Ähnlich zum Terminrisiko sinkt das Kostenrisiko des Kunden mit einem wachsenden Leistungsumfang durch das Bauunternehmen. Insbesondere bei der Vergabe an Fachunternehmer ist für den Kunden eine frühzeitige Kostensicherheit nicht gegeben. Durch die gestaffelte Vergabe der Leistungen während der Ausführung hat der Kunde erst zu einem späten Zeitpunkt im Projekt eine vergleichsweise hohe Kostensicherheit. [6] Der Einsatz eines Teil-GU bringt im Vergleich dazu nur bedingt Vorteile. Der GU ohne Ausführungsplanung ermittelt im Zuge des Angebots einen Gesamtpreis für das Projekt, der zudem pauschaliert werden kann. [8] Durch die Vergabe von Planungsleistungen an das Bauunternehmen, können überdies Kostenrisiken aus fehlerhafter und verspätet übergebener Planung minimiert werden, da resultierende Verzugs- oder Änderungskosten durch den Unternehmer getragen werden müssen.

#### Minimierung des Haftungsrisikos bei Mängeln

Die Leistungsgefahr geht bei der Fachunternehmervergabe bereits im Zuge der Abnahmen während der Bauausführung auf den Kunden über. Das Haftungsrisiko kann der Kunde mit der Bündelung von Leistungen minimieren. Bei der Bündelung durch einen Teil-GU übernimmt dieser für die jeweiligen Gewerke das Haftungsrisiko bis zur Abnahme der Teil-GU-Leistung. Dies gilt analog für die GU-Vergabe, bei der die Abnahme erst nach Abschluss der gesamten Bauleistung stattfindet und die Leistungsgefahr auf den Kunden übergeht. Der Umfang an übernommenen Planungsleistungen ist hierbei nicht relevant. Der (Teil-)GU übernimmt zudem gegenüber dem Kunden das Insolvenzrisiko für den Ausfall eines NU zur Mangelbeseitigung. Dem sind jedoch die weitreichenderen Folgen im Insolvenzfall eines (Teil-)GU gegenüberzustellen. [10]

#### Einbindungsmöglichkeit bauunternehmerspezifischen Fachwissens

Die frühzeitige Einbindung des Fachwissens des Bauunternehmers erfordert die Übertragung von Planungsverantwortung (oder die Wahl einer partnerschaftlichen Projektabwicklung; hier nicht weiter behandelt). Dadurch kann – bei entsprechend präziser Beschreibung der Projektziele – das Bauprojekt den Kundenanforderungen entsprechend hinsichtlich Kosten, Terminen und Qualitäten optimiert werden. Allerdings wird bei der Übergabe von Planungsleistung der nachträgliche Gestaltungsspielraum für den Auftraggeber verringert. Die gewünschte Leistung ist somit durch den Kunden frühzeitig klar einzugrenzen. [8]

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass es mit steigendem Leistungsumfang durch das Bauunternehmen zu einer Verschiebung der vertraglichen Ebenen und korrespondierender Risiken kommt. Während bei der Fachunternehmervergabe der AG diese direkt beauftragt, wird bei der GU/TU-Vergabe eine weitere Vertragsebene in das Projekt gezogen, bei der die Fachunternehmen in einem Vertragsverhältnis mit dem AN stehen. Dadurch kommt es zu Risiko- und Kompetenzverschiebungen zwischen Kunde und Bauunternehmen, die durch die zusätzliche Übergabe von Planungsleistungen an das Bauunternehmen ausgeweitet werden können.

Aus strategischer Sicht ist für Bauunternehmen in den jeweiligen Unternehmereinsatzformen interessant, inwiefern veränderte Rahmenbedingungen die Entscheidung des Kunden über die Unternehmereinsatzform dynamisch beeinflussen können. Dies ermöglicht den Bauunternehmen, die eigene strategische Aufstellung entsprechend anzupassen. Im Folgenden soll sich daher mit der strategischen Relevanz von Kundenanforderungen sowie Methoden zur Analyse dieser auseinandergesetzt werden.

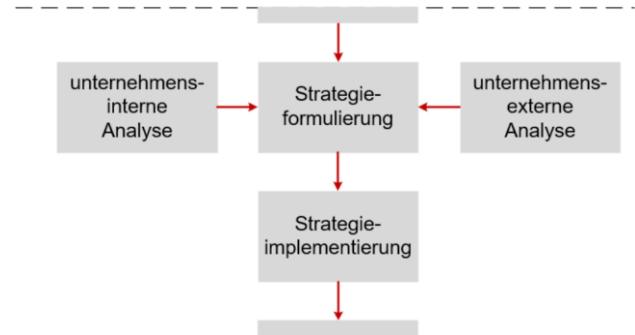
### 3 Strategische Betrachtung von Kundenanforderungen

#### 3.1 Relevanz von Kundenanforderungen für das strategische Management

Das in der Managementlehre der 1980er Jahre aufkommende strategische Management kombiniert die Managementlehre der strategischen Planung (bei der die Umwelt des Unternehmens betrachtet wird) mit der Strategieimplementierung unter Berücksichtigung unternehmensinterner Strukturen und Ressourcen. [11]

Ziel des strategischen Managements ist die Entwicklung einer Unternehmensstrategie durch die Unternehmensführung zur langfristigen Sicherung des wirtschaftlichen Erfolgs des Unternehmens. [12] Dies beinhaltet maßgeblich den Bedürfnissen der Kunden nachhaltig zu entsprechen. Hierfür müssen die Anforderungen der Kunden bekannt sein und erfüllt werden. Gleichzeitig sollten die

Unternehmen einen preislichen oder qualitativen Vorteil gegenüber Wettbewerbern bieten. [13] Die Analyse des Kunden ist daher ein wichtiger Teil des Strategieentwicklungsprozesses, um Aussagen über zukünftige Markt- und Kundenanforderungen treffen zu können. Das Ziel der Analyse und der daraus resultierenden Strategie ist die Antizipation von sich verändernden Kundenforderungen, um diesen entsprechen zu können und dadurch im Wettbewerb langfristig erfolgreich sein zu können. [14]



**Bild 2** Ausschnitt Strategieentwicklungsprozess [12]

Zwei wesentliche Bestandteile des Strategieentwicklungsprozesses sind die Strategieformulierung und -implementierung (vgl. Bild 2). Die Strategieimplementierung soll in diesem Beitrag nicht weiter vertieft werden, da diese unternehmensspezifisch durchzuführen ist. Die Verantwortung zur Strategieformulierung hat die Unternehmensführung inne. Dabei ist eine unternehmensinterne sowie eine unternehmensexterne Analyse notwendig. [12]

Die unternehmensinterne Analyse wird auch als Unternehmensanalyse bezeichnet. Hierfür stehen verschiedene strategische Methoden zur Verfügung, deren Ziel die Identifikation von Stärken und Schwächen eines bestimmten Unternehmens sind. Diese Analyse muss ebenfalls stets unternehmensspezifisch durchgeführt werden und wird daher folgend nicht näher betrachtet. [13] Die unternehmensexterne Analyse konzentriert sich hingegen auf die Unternehmensumwelt. Ziel ist es dabei, mit Hilfe strategischer Methoden potenzielle Chancen und Risiken für das betrachtete Unternehmen zu erarbeiten. Die Herausforderung liegt dabei in der Identifikation relevanter Umweltfaktoren und die Herleitung daraus resultierender unternehmensspezifischer Abhängigkeiten. Die unternehmensexterne Betrachtung beinhaltet auch die Analyse der Kunden(-anforderungen). [12]

Neben der Identifikation von bestehenden Kundenanforderungen sind aus strategischer Sicht insbesondere potenzielle Veränderungen von großer Relevanz. Kunden können dabei durch externe Umweltfaktoren beeinflusst werden. Durch die Analyse der Umwelt können relevante Einflussfaktoren identifiziert werden, die zu Veränderungen des Kundenverhaltens führen und auf die das

Unternehmen reagieren muss. Daher sind diese Veränderungen in der Strategieentwicklung zu berücksichtigen.

### 3.2 Methodik zur Untersuchung von Einflussfaktoren auf Kundenanforderungen

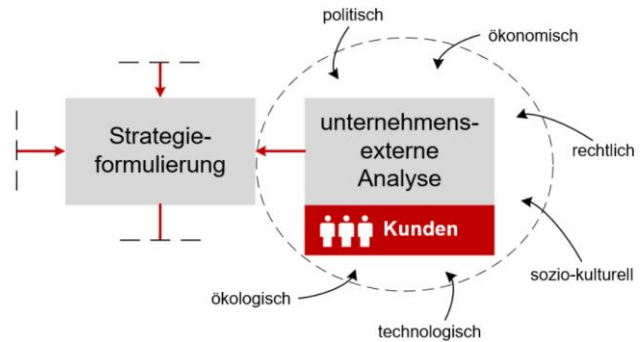
Die unternehmensexterne und -interne Betrachtung werden auch als marktorientierte und ressourcenorientierte Sichtweise bezeichnet. Marktseitig werden dabei die Anforderungen an das Unternehmen definiert, dem die unternehmensinternen Ressourcen gegenüberstehen. [11]

Die Betrachtung der Kunden und deren Anforderungen sind Bestandteil der marktorientierten Sichtweise, die eine nachhaltige Befriedigung der Kundenbedürfnisse zum Ziel hat. [13] Zur Identifikation von Einflussfaktoren auf die Kundenanforderungen kann die Umweltanalyse genutzt werden, die eine strukturierte Untersuchung der globalen Umwelt ermöglicht und wie folgt definiert ist:

*„Die globale Umwelt umfasst die Rahmenbedingungen, die sich nicht spezifisch für das Unternehmen ergeben, aber seinen Handlungsspielraum beeinflussen, ohne direkten Einfluss auf die Erfüllung der Unternehmensaufgabe zu haben.“ [11]*

Faktoren, die einen Einfluss auf die Kundenanforderungen besitzen, haben somit auch implizit einen Einfluss auf das Unternehmen und dessen Tätigkeit. Mit der Methode der Umweltanalyse können diese Faktoren identifiziert und analysiert werden. Das Ziel muss dabei die Identifikation von Interdependenzen zwischen Einflussfaktoren und Kundenanforderungen sein, die wiederum eine strategische Auswirkung auf das betrachtete Unternehmen haben.

In der Literatur wird die Methodik der Umweltanalyse meist als PEST-Analyse bezeichnet, die sich aus den Erstbuchstaben der englischen Begriffe ‚political‘, ‚economic‘, ‚social‘ und ‚technological‘ zusammensetzt. Teilweise wird dies ergänzt durch die Bezeichnung ‚environmental‘ (so dann als STEEP-Analyse abgekürzt) und ‚legal‘ (als PESTEL-/PESTLE-Analyse abgekürzt). [12] Es handelt sich somit um eine Untergliederung der zu analysierenden Rahmenbedingungen in die politische, ökonomische, sozio-kulturelle, technologische sowie ggf. ökologische und rechtliche Umwelt. Diese sind in Bild 3 schematisch dem Strategieentwicklungsprozess zugeordnet.



**Bild 3** Umweltfaktoren im Strategieentwicklungsprozess

Die exakte Interpretation des Einflusses der erkannten Faktoren auf die Kundenanforderungen sowie die Deduktion von Auswirkungen auf das Unternehmen stellen jedoch eine Herausforderung dar. Diese resultiert aus der Prognose zukünftiger Entwicklungen auf der Basis von Daten und Informationen aus der Vergangenheit und deren Fortschreibung in die Zukunft unter der Annahme einer gleichbleibenden Weiterentwicklung. Durch diese Annahme können potenziell andere Weiterentwicklungen außer Acht gelassen werden. Daher soll die Szenario-Technik als Ergänzung zur Umweltanalyse dieser Herausforderung entgegenwirken. Dabei handelt es sich um ein Projektionsverfahren, welches zukünftige Entwicklungen unter Berücksichtigung alternativer Rahmenbedingungen beschreiben soll. Daraus resultieren stets mehrere Zukunftsbilder, die jedoch ein möglichst plausibles Gesamtbild darstellen sollen und so bei der Strategiefindung unterstützen. [14]

Die Umweltanalyse in Kombination mit der Szenario-Technik kann somit eine Methode darstellen, um Einflussfaktoren auf Kundenanforderungen zu identifizieren und Aussagen über deren möglichen Auswirkungen zu treffen.

### 3.3 Übertragbarkeit auf Untersuchungen für die Bauwirtschaft

Die zuvor dargelegte Methodik könnte somit auch zur strategischen Analyse der Kundenanforderungen innerhalb der Bauwirtschaft genutzt werden.

Hierfür ist zunächst die Untergliederung des Baumarkts in den Bauprodukt- sowie den Bauleistungs-Markt zu berücksichtigen. Diese unterscheiden sich in der Art der Kundennachfrage sowie Vermarktung der Leistung(en) durch die Bauunternehmen. Im Bauprodukt-Markt bieten die Unternehmen eigenständige Produkte an, die entsprechend der Kundenanforderungen individualisiert vervielfältigt werden können (bspw. Fertighausbau). Innerhalb des Bauleistungs-Markts bietet ein Bauunternehmen seine Fähigkeit an, die durch den Kunden zuvor definierte Bauleistung zu erbringen. Diesem sind auch die zuvor vorgestellten Unternehmereinsatzformen zuzuordnen. Da der Baumarkt grundsätzlich vom Bauleistungs-Markt

dominiert wird, rückt dieser in den Fokus der Untersuchungen. [16]

Innerhalb des Bauleistungs-Markts wird die zu erbringende Bauleistung vorab durch den Kunden definiert. Dadurch ist dessen wesentliche Anforderung im Zuge der Ausschreibung in der Regel der angebotene Preis. Zwischen den Bauunternehmen herrscht somit ein starker Preiswettbewerb. Neben dem Preis sind für Kunden im Zuge Bauausführung auch weitere Aspekte wie bspw. die Nachbetreuung, die Flexibilität des Unternehmens oder die auf dem Projekt beschäftigten Projektleiter von Relevanz. [17] Allerdings betreffen all diese Aspekte die Kundenzufriedenheit während der Ausführungsphase und somit nach Auftragserteilung.

Kunden müssen sich jedoch vor bzw. während der Ausschreibung bereits für eine gewünschte Projektabwicklungsform entscheiden, die eine der zuvor vorgestellten Unternehmereinsatzformen beinhaltet. Die Entscheidung, mit welcher Unternehmereinsatzform ein Projekt abgewickelt werden soll, trifft der Kunde unter anderem anhand der in Abschnitt 2.2 vorgestellten Anforderungen und somit bereits vor dem darauffolgenden Preiswettbewerb. Die Wahl für oder gegen eine Unternehmereinsatzform auf Basis der (projektspezifischen) Anforderungen, kann wiederum durch Umweltfaktoren beeinflusst werden.

Für Bauunternehmen, die als eine der vorgestellten Unternehmereinsatzformen tätig sind, ist daher eine Analyse der Auswirkungen von Umweltfaktoren auf die Anforderungen der Kunden notwendig. Hierdurch können aus Bauunternehmenssicht strategische Maßnahmen abgeleitet werden, um auch in Zukunft den Anforderungen der Kunden entsprechen zu können.

Eine Untersuchung entsprechend der vorgestellten Methode soll im Folgenden anhand von zwei Beispielen erfolgen.

## 4 Exemplarische Analyse von zwei Einflussfaktoren

Die (Bau-)Wirtschaft wird stetig durch eine Vielzahl an Umweltfaktoren beeinflusst. Für die Ausarbeitung wurden beispielhaft zwei bauspezifische Faktoren aus der ‚PEST-Umwelt‘ ausgewählt. Diese sind zum einen die steigende Komplexität zur Planung und Abwicklung von Bauprojekten, sowie zum anderen die von externen Ereignissen induzierten steigenden Baupreise. Im Folgenden werden die beiden Faktoren kurz erläutert und den jeweiligen Themenbereichen innerhalb der ‚PEST-Umwelt‘ zugeordnet. Im Anschluss erfolgt die Untersuchung der potenziellen Auswirkung auf die Kundenanforderungen bei der

Wahl der Unternehmereinsatzform mit Hilfe der Szenario-Technik.

Ein maßgebender Grund für eine steigende Komplexität von Bauvorhaben sind die entsprechend des Stands der Technik wachsenden Anforderungen der Nutzer an den Gebäudestandard. [6] Dadurch werden Bauvorhaben mit immer höheren Standards umgesetzt. Dies geschieht unabhängig davon, ob das Bauwerk durch die Kunden selbst im Anschluss genutzt wird. Sollte dies nicht der Fall sein, hat der Kunde selbst den Anforderungen der ‚Kunden des Kunden‘ (bzw. des späteren Nutzers) zu entsprechen. Des Weiteren steigern regulatorische Rahmenbedingungen die Komplexität zusätzlich. So führen gesetzliche Vorgaben zu Energieeffizienz, Barrierefreiheit, Brand- und Schallschutz etc. zu höheren Anforderungen an Gebäude, was zudem die Baukosten steigert. [18] Es handelt sich daher um eine Kombination aus sozio-kulturellen und regulatorischen Einflussfaktoren.

Neben der Komplexität führen seit Ende 2022 steigende Zinsen und Baukosten zu einem Rückgang der Bautätigkeit. [19] Die steigenden Baukosten sind insbesondere auf stark gestiegene Materialpreise zurückzuführen. Diese resultieren u. a. aus hohen Energiepreisen im Zuge des Ukraine-Konflikts und sind somit den (geo-)politischen Einflussfaktoren zuzuordnen. Weiterhin sind die Personalkosten, die ca. 50 % der gesamten Produktionskosten ausmachen, von 2011 bis 2022 um über 20 % gestiegen. [20] Die aktuell hohe Inflation (ökonomischer Einflussfaktor) sowie der sich abzeichnende Fachkräftemangel (sozio-kultureller Einflussfaktor) könnten weitere Steigerungen der Personalkosten zur Folge haben. [21]

Sowohl die steigende Komplexität, als auch die stark gestiegenen Baukosten stellen externe Einflussfaktoren auf die Anforderungen der Kunden dar, die auf sozio-kulturelle, politisch-rechtliche Rahmenbedingungen zurückzuführen sind. Bei der Wahl der Unternehmereinsatzform können sich die beiden Beispiele unterschiedliche auswirken. Daher werden im Folgenden zwei Szenarien vorgestellt, um dies beispielhaft darzustellen.

### Szenario 1 – Steigende Komplexität und Kosten

Die Annahme für dieses Szenario sind eine Zunahme der Komplexität durch politische Rahmenbedingungen sowie steigende Baukosten infolge von Material- und Lohnkostensteigerungen. Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3.2 vorgestellten Kundenanforderungen bei der Wahl der Unternehmereinsatzform könnte eine weitere Zunahme der Komplexität zu einer erhöhten Einbindung bauunternehmensspezifischen Fachwissens führen, was für eine vermehrte GU- und TU-Vergabe sprechen würde. Die Vergabe an Fachunternehmen oder Teil-GU könnte daher nachlassen. Durch eine Einbindung in die Planung können

zudem komplexitätsmindernde Optimierungspotenziale aufgezeigt werden. [4]

Es ist davon auszugehen, dass bei der Wahl der Unternehmereinsatzform die aktuellen Baukosten eine untergeordnete Rolle spielen, da diese alle Unternehmereinsatzformen im selben Maße betreffen. Bei schnell steigenden Preisen wäre bei Kunden allerdings ein erhöhtes Bedürfnis nach Kostensicherheit möglich. Dies könnte ebenfalls für eine GU- und TU-Vergabe sprechen, wobei diese die steigenden Preise in ihrem Angebot berücksichtigen werden.

### Szenario 2 – Sinkende Komplexität und Kosten

Eine sinkende Komplexität durch geringere bzw. vereinfachte regulatorische Anforderungen bspw. an den Gebäudestandard, würden zu sinkenden Preisen führen und gleichzeitig eine bessere Beherrschbarkeit der Projekte für Kunden darstellen. Dies könnte die Fachunternehmervergabe fördern, sofern die Kunden die notwendigen Ressourcen zur Abwicklung der Projekte aufbringen können. Grundsätzlich wären diese Entwicklungen vermutlich weniger stark ausgeprägt als bei Szenario 1, da keine Reduktion der Anforderungen der Nutzer zu einem vereinfachten Stand der Technik zu erwarten ist.

Niedrigere Baukosten hätten entsprechend der oben beschriebenen Begründung nur bedingt einen Einfluss auf die Wahl der Unternehmereinsatzform. Allerdings könnten Kunden darauf hoffen, bei schnell fallenden Preisen durch die gestaffelte Vergabe an Fachunternehmer (oder Teil-GU) zu einem späteren Zeitpunkt günstigere Angebotspreise zu erhalten und somit zu dieser Form der Vergabe tendieren.

Die Ergebnisse beider Szenarien sind in der folgenden Abbildung schematisch für die jeweiligen Unternehmereinsatzformen dargestellt.

	Szenario 1 Steigende Komplexität und Kosten	Szenario 2 Sinkende Komplexität und Kosten
Fachunternehmer	↓	↗
Teil-Generalunternehmer	↘	↗
Generalunternehmer	↗	↘
Totalunternehmer	↑	↓

Bild 2 Ergebnisse Szenarioanalyse (schematische Darstellung)

## 5 Fazit und Ausblick

In dem Beitrag wurde die Relevanz von Kundenanforderungen für Unternehmen aufgezeigt und erläutert, wie mittels einer externen Umweltanalyse in Kombination mit der Szenario-Technik deren zukünftigen Entwicklungen methodisch untersucht werden können.

Der Bauwirtschaft wird als wesentliche Kundenanforderung bei der Auswahl eines Bauunternehmens der Preiswettbewerb unterstellt. Allerdings trifft der Kunde (Auftraggeber) zuvor eine Entscheidung über die für das Projekt gewünschte Unternehmereinsatzform, bei der auch andere Anforderungen Berücksichtigung finden. Diese wurden beispielhaft für die üblichen Unternehmereinsatzformen vorgestellt.

Faktoren wie z. B. Komplexität und Kosten können diese Entscheidung des Kunden beeinflussen und Veränderungen für die verschiedenen Unternehmereinsatzformen nach sich ziehen, die es in der Strategiefindung aus (Bau-)Unternehmenssicht für den langfristigen Erfolg zu berücksichtigen gilt.

Aufgrund der lediglich exemplarischen Darstellung der Szenarien sollten weitere Untersuchungen in diesem Themengebiet angestellt werden, um validere Aussagen über mögliche Auswirkungen bei Veränderungen der Rahmenbedingungen treffen zu können. Hierfür sind zunächst die Kundenanforderungen an die verschiedenen Unternehmereinsatzformen weiter zu detaillieren. Zudem sollte entgegen einer spezifischen Auswahl von Faktoren eine vollumfängliche Umweltanalyse weiterer Faktoren und von deren Abhängigkeiten zueinander durchgeführt werden. Mit Hilfe der Szenario-Technik können im Anschluss erste strategische Aussagen aus Bauunternehmenssicht getroffen werden. Dafür sind zudem Überlegungen für eine potenzielle quantitative Erarbeitung und Validierung der Szenarien angestellt werden.

## 6 Literatur

- [1] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V.; Kraus, P. (2023) *Umsatz und Auftragseingang – Jan.-Jun. 2023* [online] [Zugriff am: 30. Aug. 2023].
- [2] BWI-Bau GmbH (2022) *Leistungsangebote bauausführender Unternehmen* in: BWI-Bau GmbH [Hrsg.] *Ökonomie des Bauens: Teil 1: Volkswirtschaftliche Grundlagen – Der zweipolige Baumarkt*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer Vieweg, S. 231–263.
- [3] Wirth, A.; Pfisterer, C.; Schmidt, A. (2011) *Privates Baurecht Praxisnah – Basiswissen Mit Fallbeispielen*. Wiesbaden: Springer Vieweg. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- [4] Püstow, M. et al. (2020) *Vergabe an Generalunternehmer – Eine Handreichung für öffentliche Auftraggeber*. KMPG Law Rechtsanwaltsgesellschaft mbH.
- [5] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V.; Kraus, P. (2022) *Subunternehmertätigkeit im Bauhauptgewerbe: Im Hochbau besonders ausgeprägt* [online].

- [https://www.bauindustrie.de/fileadmin/bauindustrie.de/Zahlen\\_Fakten/Bauwirtschaft-im-Zahlenbild/2023/Grafik\\_14.jpg](https://www.bauindustrie.de/fileadmin/bauindustrie.de/Zahlen_Fakten/Bauwirtschaft-im-Zahlenbild/2023/Grafik_14.jpg).
- [6] Racky, P. (1997) *Entwicklung einer Entscheidungshilfe zur Festlegung der Vergabeform*. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH.
- [7] Klein, H. (2008) *Basics Project Planning*. Basel: Birkhäuser.
- [8] Girmscheid, G. (2010) *Angebots- und Ausführungsmanagement - Leitfaden für Bauunternehmen – Erfolgsorientierte Unternehmensführung vom Angebot bis zur Ausführung*. 2. Aufl. Berlin: Springer.
- [9] Weeber, H.; Bosch, S. (2001) *Vergabeverfahren und Baukosten*. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.
- [10] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. [Hrsg.] (2009) *Fachlosweise Vergabe oder Generalunternehmervergabe als Entscheidungsproblem des Bauherrn*. Berlin: Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V.
- [11] Scherm, E. (2019) *Strategisches Management – Theorie, Entscheidung, Reflexion*. Berlin/München/Boston: Walter de Gruyter GmbH.
- [12] Andersen, T. J. (2013) *Short introduction to strategic management*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [13] Camphausen, B. (2013) *Strategisches Management – Planung, Entscheidung, Controlling*. 3. Aufl. Berlin/München/Boston: Walter de Gruyter GmbH.
- [14] Vahs, D.; Brem, A. (2015) *Innovationsmanagement – Von der Idee zur erfolgreichen Vermarktung*. 5. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- [15] Wollmerhäuser, T. et al. (2022) *ifo Konjunkturprognose Sommer 2023: – Inflation flaut langsam ab – aber Konjunktur lahmt noch* in: ifo Schnelldienst, H. 76.
- [16] BWI-Bau GmbH (2022) *Besonderheiten der Beziehungen zwischen den Akteuren auf dem Baumarkt* in: BWI-Bau GmbH [Hrsg.] *Ökonomie des Bauens: Teil 1: Volkswirtschaftliche Grundlagen – Der zweipolige Baumarkt*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer Vieweg, S. 185–230.
- [17] Gutsche, C.; Mauerhofer, G. (2019) *Kundenzufriedenheit in der Baubranche – Eine Analyse für einen österreichischen Baukonzern* in: Hofstadler, C. [Hrsg.] *Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht: 50 Jahre Institut Für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Graz*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, S. 346–359.
- [18] Walberg, D. et al. [Hrsg.] (April 2019) *Gutachten zum Thema Baukosten und Kostenfaktoren im Wohnungsbau in Schleswig-Holstein – Erhebung, Erfassung und Feststellung der Baukosten und Kostenfaktoren der letzten Jahre in Schleswig-Holstein und seinen Regionen*. Kiel: Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.
- [19] Emter, L.; Gunella, V.; Schuler, T. (2023) *Energiepreisschock, preisliche Wettbewerbsfähigkeit und Exportleistung des Euroraums* in: Europäische Zentralbank [Hrsg.] *Wirtschaftsbericht: Ausgabe 3 / 2023*.
- [20] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. (2022) *...auf den Punkt gebracht – Preisentwicklung im Wohnungsbau*.
- [21] Bauer, U. (2019) *Der Humanfaktor in der Bauwirtschaft* in: Hofstadler, C. [Hrsg.] *Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht: 50 Jahre Institut Für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Graz*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, S. 163–177.
- [22] Schwerdtner, P.; Kumlehn, F.; Schütte, J. (2018) *Kostengünstiger Wohnungsbau: Identifikation bestehender Hemmnisse für den Einsatz von Raummodulen im Wohnungsbau*. Stuttgart: Forschungsinitiative Zukunft Bau.

# **Bauingenieurinnen seit 1928 – ausgewählte Ergebnisse des Projektes Vision2028**

## **Women civil engineers since 1928 – selected results of the project Vi- sion2028**

Natalia Bienkowski, Technische Universität Dresden, Institut für Baubetriebswesen, Nürnberger Straße 31A, 01187 Dresden, [natalia.bienkowski@tu-dresden.de](mailto:natalia.bienkowski@tu-dresden.de)

Johann Wagner, Technische Universität Dresden, Institut für Baubetriebswesen, Nürnberger Straße 31A, 01187 Dresden

Florian Härtel, Technische Universität Dresden, Institut für Baubetriebswesen, Nürnberger Straße 31A, 01187 Dresden

Annika Herdan, Technische Universität Dresden, Institut für Baubetriebswesen, Nürnberger Straße 31A, 01187 Dresden

Katharina Kleinschrot, Technische Universität Dresden, Institut für Baubetriebswesen, Nürnberger Straße 31A, 01187 Dresden

### **Kurzfassung**

Nach Abschluss des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes Vision2028, welches sich mit innovativen Frauen im Bauingenieurwesen seit 1928 beschäftigt, wird ein Überblick über ausgewählte Projektergebnisse gegeben. Die Recherche nach Bauingenieurinnen war herausfordernd, aber dennoch ergebnisreich. Die Recherche ergab viele innovative Bauingenieurinnen in den Bereichen Promotionen, Patenten und Positionen sowie Auszeichnungen. Dabei wurde deutlich, dass bereits vor knapp 100 Jahren viele Frauen innovative Beiträge im Bauwesen geleistet haben, wie zum Beispiel die Erfinderinnen Paula Sperle und Thea Luchterhand, die bislang nicht bekannt waren. Das Sichtbarmachen von Vorbildern ist wichtig, um jungen Menschen, vor allem jungen Frauen, die Vielfältigkeit des Bauingenieurwesens zu zeigen und sie für diesen Beruf zu begeistern. Das Bauingenieurwesen steht vor großen Herausforderungen in der Zukunft, die nur gemeinsam gelöst werden können. Dafür werden junge und motivierte Bauingenieurinnen und Bauingenieure benötigt.

### **Abstract**

After completion of the BMBF-funded research project Vision2028, which deals with innovative women in civil engineering since 1928, an overview of the project results is given. The research on women civil engineers was challenging, but nevertheless rich in results. The research revealed many innovative female civil engineers in the areas of doctorates, patents, offices and positions as well as awards. It became clear that many women had already made innovative contributions to civil engineering almost 100 years ago, such as the inventors Paula Sperle and Thea Luchterhand, who had been previously unknown. Making role models visible is important to show young people, especially young women, the diversity of civil engineering and to get them excited about this profession. Civil engineering faces major challenges in the future that can only be solved together. Young and motivated civil engineers are needed for this.

## **1 Das Projekt Vision2028**

Das vom BMBF geförderte Forschungsprojekt „Vision2028“ (07/2021 – 09/2023, FKZ 01FP21011) konzentrierte sich auf das Wirken von innovativen Frauen in allen Fachdisziplinen des Bauingenieurwesens von 1928 bis heute. Die erste deutsche Bauingenieurin, Frau Martha Schneider-Bürger, begann 1928 ihre Berufstätigkeit. Die übergeordnete Forschungsfrage des Projektes war: Was haben innovative Frauen im Bauingenieurwesen seit 1928 beigetragen und erreicht? Mit der Website [www.bauingenieurinnen.de](http://www.bauingenieurinnen.de) wird erstmalig eine Archivsammlung über das Wirken innovativer Bauingenieurinnen in Deutschland bereitgestellt. Eine Auswahl von 50

innovativen Bauingenieurinnen wird so im Rahmen des Forschungsprojektes in den Fokus gerückt.

Nach Projektende soll das Anliegen strukturell verankert und unter anderem durch Schaffen einer Plattform für den Austausch zwischen allen Beschäftigten und Studierenden der Bau- und Immobilienwirtschaft weiterverfolgt werden. Durch alle Beteiligten können weitere einflussreiche Frauen aus dem Bauwesen identifiziert und ergänzt werden.

## **2 Patente**

Patente, Patentanmeldungen und Gebrauchsmuster wurden auf weibliche Erfinderinnen untersucht. Hierbei

waren die Patentklassen für Krane, Gleisoberbau, Straßenbau, Brücken, Gründungen, Bodenbewegung, allgemeine Baukonstruktion, Bauelemente, Ausbau, Schalung und Fenster/Türen im Fokus der Untersuchung. Nach Patentklassen untergliedert, wurden Excel-Tabellen untersucht, welche nach Jahreszahlen gefiltert werden konnten. Erschwert wurde die Auswertung jedoch durch die fehlende Filterfunktion nach dem Geschlecht, so dass manuell nach weiblichen Vornamen gesucht werden musste.

Beginnend mit dem Jahr 1928 wurden die patentierten Inhalte in Jahrzehnte unterteilt und gezählt (siehe Abbildung 1). Die Patente von 1928 bis 1950 lieferten ungefähr 5.000 Treffer, die restlichen Patente beliefen sich auf ca. 201.000 Treffer.

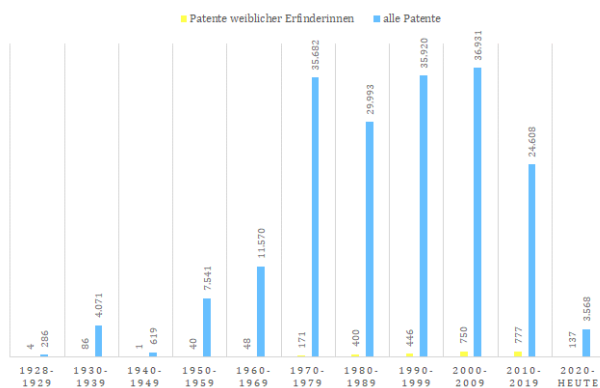


Abbildung 1 Statistische Auswertung der Patente

Insgesamt konnten 2.860 Patente von weiblichen Erfindern ausfindig gemacht werden. Auf die Gesamtzahl der Rechercheergebnisse bezogen, sind folglich nur 1,39 % aller Patente im Bauwesen von Frauen. Diese 2.860 Patente galt es nach ihrer wissenschaftlichen Relevanz einzuordnen. Als Relevanzfaktor wurde die Laufzeit der Patente bestimmt, wobei die maximale Schutzdauer von Patenten 20 Jahre beträgt. Die Laufzeit ist dahingehend interessant, da ab dem dritten Laufzeitjahr eine Jahresgebühr für jedes Patent anfällt, um das Schutzrecht weiter aufrecht zu erhalten. Herausgefunden wurden 300 Patente mit einer Laufzeit von 20 Jahren. Von diesen 300 Treffern wurden 41 thematisch interessante Patente näher betrachtet.

Schlussendlich wurden aus dieser Auswahl 16 Erfinderrinnen auf der Website veröffentlicht, da nicht für jede Erfinderrin biografische Daten recherchierbar waren. Oftmals waren der Name und ein bis zwei Anhaltspunkte zu finden. Geburtsort und -datum sowie der Wohnsitz oder gegebenenfalls das Sterbedatum konnte häufig nicht herausgefunden werden. Dennoch gelang es bei 16 Frauen nahezu vollständige Biografien zu erstellen. Herausgestochen ist unter anderem Thea Luchterhand, geb. Rott, welche 1930 das Patent für ein Schalungsgerüst für Tunnel stellte. Ebenso bedeutend war und ist Paule Sperle,

geborene Mayer, die Optimierungen der „Sperle-Decken“ patentierte.

### 3 Dissertationen

Die Recherche begann in der Datenbank der Deutschen Nationalbibliothek (DNB). Ziel war es die dort vorhandenen Dissertationen und Habilitationen von Bauingenieurinnen zusammenzustellen. Dissertationen vor 1998 waren teilweise nur sehr schwer zugänglich. Vor allem Dissertationen und Habilitationen, die vor dem 2. Weltkrieg entstanden sind, waren nur sehr schwer zu finden, da durch 2. Weltkrieg viele Unterlagen zerstört wurden. Ersatzweise konnten die Jahresverzeichnisse der Hochschulschriften nach Promotionen untersucht werden.

Da die Dissertationen und Habilitationen aus den Jahresverzeichnissen teilweise nicht eindeutig dem Bauingenieurwesen zugeordnet werden konnten, war ein zusätzlicher Abgleich mit den Personalverzeichnissen der Universitäten erforderlich. Sofern die Frauen dort als Mitarbeiterinnen gelistet waren, konnte eine eindeutige Zuordnung erfolgen. Die Recherche ergab eine Liste mit ungefähr 75 Dissertationen und Habilitationen von Bauingenieurinnen zwischen 1928 und 1998. Durch die Auswertung der Jahresverzeichnisse konnte mit Else Hartmann die nach aktuellem Forschungsstand erste promovierte Bauingenieurin Deutschlands ausfindig gemacht werden. Sie hat 1957 an der TH Stuttgart zum Thema „Über die Wirkung von Frost und Tausalzen auf Beton ohne und mit luftporenbildenden Zusatzmitteln“. Auf diese Weise war es jedoch nicht möglich die erste habilitierte Bauingenieurin in Deutschland zu bestimmen.

### 4 Ämter und Positionen

#### 4.1 Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Professorinnen

Im Rahmen der Recherche war es erforderlich die historischen Personalverzeichnisse der TU9-Universitäten in der Deutschen Nationalbibliothek (DNB) Leipzig und Frankfurt am Main vor Ort manuell auszuwerten. Die dadurch akquirierten Ergebnisse ermöglichten es die nach aktuellem Forschungsstand erste wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachbereich Bauingenieurwesen in Deutschland, Frau Dipl.-Ing. Natalie Robens, zu finden. Sie arbeitete ab 1967 am Institut für Stahlbau der TU Braunschweig. Im Jahr 1995 übernahm Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann nach aktuellem Forschungsstand als erste Frau eine Professur im Fachbereich Bauingenieurwesen an den TU9-Universitäten. Sie hat die Professur für Stahl- und Holzbau an der Universität Stuttgart und die Leitung des Instituts für Konstruktion und Entwurf der Universität Stuttgart inne.



## 4.2 Frauenquoten in Vorständen

Untersucht wurden Jahresberichte verschiedener nationaler und internationaler Bauunternehmen. Dabei wurde festgestellt, dass einige Unternehmen eine "0-Prozent Frauenquote" auf Führungsebene als Ziel angeben. Unternehmen haben eine Verantwortung, die beispielsweise durch die Corporate Social Responsibility (CSR) und Environmental, Social and Governance Standards (ESG Standards) konkretisiert wird. Dazu gehört die Förderung von Chancengleichheit und Gleichberechtigung in Führungspositionen.

Die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) wurde im November 2022 vom EU-Parlament verabschiedet und ändert den Umfang und die Art der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen tiefgreifend. Die Global Reporting Initiative (GRI) hat Standards für die Nachhaltigkeitsberichterstattung entwickelt, darunter GRI 405: „Vielfalt und Chancengleichheit“. Dieser Standard legt Anforderungen für die Berichterstattung über das Thema Vielfalt und Chancengleichheit fest. Unternehmen müssen auf Basis dieser Regularien zukünftig regelmäßig über den Anteil von Frauen berichten. Dies kann den Prozess der Transformation der Arbeitswelt hin zu diverseren Teams, d. h. mit höherem Frauenanteil, beschleunigen.

## 5 Auszeichnungen

### 5.1 Ehrendoktorwürde

Zunächst wurden bundesweit verliehene Ehrendokortitel recherchiert. Festzustellen war dabei, dass die Universitäten der TU9 (Allianz der führenden Technischen Universitäten in Deutschland) über frei zugängliche Dokumentationen der vergebenen Ehrendoktorwürden verfügen. Bei der Recherche konnten keine Bauingenieurinnen identifiziert werden, die bei einer der Mitgliedsuniversitäten der TU9 eine Ehrendoktorwürde erhalten haben.

### 5.2 Bundesverdienstkreuz

Für den Verdienstorden der Bundesrepublik Deutschland standen Statistiken über die Anzahl der verliehenen Auszeichnungen zur Verfügung, jedoch keine recherchierbare Datenbank zu den ausgezeichneten Personen. Eine beim Bundespräsidialamt gestellte Anfrage ergab eine Liste der Würdenträgerinnen mit Namen, Berufsbezeichnung und Jahr der Verleihung. Leider war es nur vereinzelt möglich herauszufinden, wofür die Frauen die Auszeichnung bekommen haben. Vielmehr ergaben sich auf anderen Recherchewegen (z. B. Interviews) vereinzelt Erkenntnisse zu Bauingenieurinnen, die mit dem Bundesverdienstkreuz ausgezeichnet wurden, wie beispielsweise Professorin Ulrike Kuhlmann.

## 6 Öffentlichkeitsarbeit

### 6.1 Übergeordnete Kommunikationsstrategie

Die Kommunikationsstrategie des Projektes stand vor der Herausforderung, dreierlei Zielen unterworfen zu sein. Einerseits galt es dem Anspruch der Förderziele und der Thematik an professionelle, marken- und zielgruppenadäquate Kommunikation gerecht zu werden. Darüber hinaus war es jedoch in gleichem Maße erforderlich, erkennbar als Teil der Corporate Identity der TU Dresden aufzutreten und die entsprechend dafür notwendigen Anforderungen zu erfüllen. Schließlich musste im Sinne der Gewährleistung einer nachhaltigen Fortführbarkeit des Projektes stets darauf geachtet werden, die zu entwickelnden Strukturen für die Zeiträume nach dem Ablauf der Projektförderung und der damit einhergehenden Betreuung der Kanäle durch eine professionelle Agentur für ein ehrenamtlich agierendes und nicht fachspezifisch vorgebildetes Team zugänglich und bedienbar zu gestalten. Unter Beachtung all dieser Gesichtspunkte wurde seitens des Projektteams die Entscheidung getroffen, neben der kommunikativen Kernkomponenten des Projektes, welche sich vor allem in der Teilnahme an und Durchführung von Events im Bereich der strategischen interpersonalen Kommunikation verorten lässt, zwei weitere Kommunikationskanäle einzurichten, welche sich beide dem Bereich der digitalen Online-Kommunikation zuordnen lassen.

### 6.2 Website

Die Website ist als "digitale Heimat" des Projektes Dreh- und Angelpunkt sowie Leitkanal der Strategie innerhalb des digitalen Raums. Auf der Website [www.bauingenieurinnen.de](http://www.bauingenieurinnen.de) findet sich die optisch wie technisch als "Archiv" gestaltete und ebenso bezeichnete Sammlung an inspirierenden weiblichen Persönlichkeiten aus der Geschichte des Bauingenieurwesens. Die Website verfolgt dabei den Anspruch, die maximale Menge an verfügbaren Informationen zu diesen Frauen in ihrer Gesamtheit aufzubereiten und den Nutzern so ein möglichst detailliertes Bild dieser Frauen zur Verfügung zu stellen. Bezüglich der Sichtbarmachung als einer der beiden Säulen des Projekts ist die Website damit auch stets Zielkanal sämtlicher kommunikativer Bemühungen - andere Kanäle also immer dann ihre Funktion bestmöglich erfüllt, wenn der Nutzer am Ende seiner Interaktion mit dem Projekt dazu bewegt werden konnte, die umfangreichen Darstellungen der Website zu rezipieren. Bezüglich der zweiten Säule, der Vernetzung von Frauen in diesem Feld, dient die Website hingegen lediglich als Begleitkanal, was aus der Natur der Sache hervorgeht. Die Website bietet über einen separat aufrufbaren und prominent platzierten Bereich hier Kontaktmöglichkeiten, Zugriff zu einer digitalen Netzwerkgruppe und eine Übersicht über die vergangenen und anstehenden Termine zur interpersonalen Vernetzung, die den Zielkanal dieser Bemühungen darstellt.

Mittels SEO konnte weiterhin erreicht werden, dass der Suchbegriff "Bauingenieurinnen" seitens der Standard-Suchmaschine Google von nun an die Projektwebsite als obersten Treffer ausgibt und allein damit, zur Sichtbarkeit der Thematik beiträgt.

### 6.3 Instagram

Der Instagram-Account @bauingenieurinnen stellt einen Nebenkanal des Projektes dar, welchem gleichwohl eine hohe Bedeutung zukommt. Studien legen nahe, dass das Informationsverhalten junger Menschen sich heutzutage vornehmlich im Rahmen der sozialen Medien abspielt. Daher wurde es erforderlich, das Projekt kommunikativ dort zu platzieren, wo die Zielgruppe es möglichst niederschwellig antreffen kann. Für die Plattform Instagram wurde sich vor allem aufgrund der hohen Verbreitung in der Zielgruppe, der vergleichsweise geringen technischen Erstellungskomplexität des plattformtypischen Contents und der vielfältigen Integrationsmöglichkeiten des Hauptkanals entschieden. Da die Plattform im Rahmen der Gesamtstrategie vor allem eine "Teaser"-Funktion innehat, welche dazu dienen soll, die Nutzer auf den Hauptkanal Website und die diversen Vernetzungsmöglichkeiten hinzuweisen, wird auch entsprechend verkürzend in der Informationsaufbereitung gearbeitet. Die Bildkacheln beinhalten daher nicht denselben Informationsgehalt wie das Archiv auf der Website, sondern dienen vielmehr dazu, grundlegende Aufmerksamkeit zu schaffen, die letztendlich stärkeres Involvement, wie das vertiefte Studium der Website, erst ermöglicht. Nichtsdestotrotz tragen bereits die auf Instagram veröffentlichten Daten zu den relevanten Frauen einen Teil zum Kernziel der Sichtbarmachung bei.

## 7 Ausblick: strukturelle Verankerung durch Netzwerkaufbau

Damit das Ziel des Projektes Vision2028, innovative Frauen im Bauingenieurwesen sichtbar zu machen, auch nach Abschluss der Förderung durch das BMBF weitergeführt wird, ist ein Netzwerk und Verein in Gründung. Ziel ist es, hier alle Interessierten zusammenzubringen und weibliche, innovative Rollenvorbilder zu identifizieren und sichtbar zu machen. Primäre Kommunikationsplattform für das Netzwerk und dessen Aufbau ist LinkedIn.

Angegliedert an den Verein entsteht eine studentische Vernetzungsgruppe. Durch das Integrieren von Schülerinnen soll allgemein ein Bewusstsein für den Fachbereich des Bauingenieurwesens geschaffen werden. Voraussetzung hierfür ist das Interesse der Schülerinnen und Schüler an den MINT-Fächern, damit schon während der schulischen Ausbildung der Grundstein für die Begeisterung für das Bauingenieurwesen gelegt werden kann. Zur

Erreichung dieses Ziels sollen weibliche Vorbilder und Best-Practice Beispiele aufgezeigt werden.

Geplant sind Veranstaltungen wie Vortragsreihen, Baustellenexkursionen und fachliche Speed-Dating-Events. Zudem soll die Vernetzungsgruppe an Schüler-Praxistagen, wie dem Girls' Day mit den Schülerinnen in Kontakt treten. Die Baustellenexkursionen sollen vorrangig zwischen Frauen aus der Praxis und Studierenden stattfinden. Die Ringvorlesungen sind für alle Altersgruppen offen. Vortragende ist eine, im besten Fall schon im Projekt Vision2028 vorgestellte, innovative Frau, die etwas über ihr Innovationsthema berichtet. Die Speed-Dating-Events werden zweigeteilt: zum einen eine Veranstaltung von Studierenden für Schülerinnen, um den Campus und das Studium des Bauwesens näher zu bringen, die Vielfalt aufzuzeigen und so ein Studieninteresse zu wecken. Möglich sind außerdem Events zwischen Frauen aus der Praxis und Studierenden, welche den Einstieg in den Berufsalltag erleichtern sollen. So sind die Übergänge zwischen Schule und Universität sowie Universität und Beruf im Fokus und alle Karrierestufen umfasst.

# Auswirkungen von psychischen Belastungen in der Bauindustrie

## Impact of mental stress in the construction industry

Dr.-Ing. Dominik Waleczko, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), Gotthard-Franz-Straße 3 76131 Karlsruhe, dominik.waleczko@kit.edu

Kristina Lich B.Sc., Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), Gotthard-Franz-Straße 3 76131 Karlsruhe, kristina.lich@student.kit.edu

### Kurzfassung

Laut der Gesundheitsberichterstattung diverser Krankenkassen wurde 2022 ein neuer Höchststand an Krankheitstagen aufgrund psychischer Erkrankungen erreicht. Die anhaltende Belastung durch die Covid-19-Pandemie wird als Begründung herangezogen, jedoch fällt auf, dass der Anstieg der Zahlen deutlich früher begonnen hat. Stetig wachsende Anforderungen erzeugen arbeitsorganisatorischen Druck auf die Beschäftigten der Bauindustrie. Dies kann dazu führen, dass das emotionale und das körperliche Wohlbefinden sowie das soziale Umfeld beeinträchtigt werden. Es wird aufgezeigt, wie in der Bauindustrie bisher mit diesem Problem umgegangen wird. Zunächst wird allgemein in das Thema psychische Belastungen sowie Methoden zur Stressbewältigung eingeführt. Darauf aufbauend werden erste Empfehlungen vorgestellt, wie mit diesen Belastungen umgegangen werden kann. Hierzu wurden eine Literaturrecherche sowie eine empirische Vorstudie durchgeführt. Außerdem wurde eine Umfrage veranlasst, um eine erste Einschätzung zu erhalten, wie sich die Covid-19-Pandemie auf die mentale Gesundheit von Beschäftigten der Bauindustrie ausgewirkt hat.

### Abstract

According to the health reporting of various health insurance companies, a new peak in sick days due to mental illness was reached in 2022. The continuing burden of the Covid 19 pandemic is used as a reason, but it is noticeable that the increase in numbers started much earlier. Constantly increasing demands create work organisational pressure on employees in the construction industry. This can lead to emotional and physical well-being as well as the social environment being affected. It will be shown how this problem has been dealt with in the construction industry so far. First, a general introduction to the topic of psychological stress and methods of coping with stress is given. Based on this, first recommendations are presented on how to deal with these stresses. For this purpose, a literature review and a preliminary empirical study were conducted. In addition, a survey was initiated to obtain an initial assessment of how the Covid 19 pandemic has affected the mental health of employees in the construction industry.

### 1 Einleitung

Im Jahr 2021 wurde gemäß des DAK-Psychreport 2022 ein neuer Höchststand an Krankheitstagen aufgrund psychischer Erkrankungen erreicht. Auf 100 versicherte Personen wurden rund 276 Arbeitsunfähigkeitstage (AU-Tage) gezählt. Der neue Höchststand wird vor allem durch die anhaltende Belastung durch die Covid-19-Pandemie begründet. Generell konnte festgestellt werden, dass von dem Anstieg psychischer Erkrankungen Frauen (352 AU-Tage pro 100 Versicherte) deutlich stärker betroffen sind als Männer (211 AU-Tage pro 100 Versicherte). Während Frauen stärker unter Ängsten leiden, werden Männer häufiger wegen auftretender Störungen infolge von Alkoholmissbrauch oder anderem Drogenkonsum krankgeschrieben. [1]

Dieser Trend ist auch in der Gesundheitsberichterstattung anderer Krankenkassen sichtbar. So sind in Statista [2] diverse Zahlen und Studien gesammelt und zusammengefasst, die die Folgen von psychischen Erkrankungen für

den Arbeitsmarkt zusammenfassen. Auffällig ist, dass der Trend lange vor der Covid-19-Pandemie startete, denn die Zahl der Krankschreibungen aufgrund psychischer Diagnosen steigt seit dem Jahr 2006 kontinuierlich an. Gemäß der AOK hatte sich bis 2016 die Zahl der Krankschreibungen aufgrund psychischer Erkrankungen um 50 % und die Zahl der daraus resultierenden AU-Tage um knapp 80 % erhöht. Die BKK macht psychische Erkrankungen für rund 15 % aller AU-Tage verantwortlich. Die DAK hat 2016 berichtet, dass sich in den letzten 20 Jahren das Arbeitsunfähigkeitsvolumen aufgrund psychischer Erkrankungen mehr als verdreifacht hat. In dieser Zeit sind depressive Episoden zur dritt wichtigsten Einzeldiagnose bei Arbeitsunfähigkeit aufgestiegen.

Die Bauindustrie ist unter anderem geprägt durch hohe fachliche Komplexität und stetigem Wettbewerbs- sowie Termindruck. Stetig wachsende berufliche Anforderungen erzeugen arbeitsorganisatorischen Druck auf die Beschäftigten. Dabei wird sowohl das emotionale als auch körperliche Wohlbefinden und das soziale Umfeld maßgeblich

DOI: 10.17185/dupublico/79095



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Lizenz (CC BY-SA 4.0)

beeinträchtigt. Demnach sind sowohl kurzfristige als auch langfristige Stressreaktionen nicht zu vermeiden. Die Kombination aus arbeitsorganisatorischer Belastung und einer potenziellen Beeinträchtigung mit privatem Hintergrund, kann dabei verstärkte gesundheitsgefährdende Folgen generieren. [3]

Aufgrund dieser Anforderungen liegt es nahe, dass die Bauindustrie ebenfalls von den steigenden Auswirkungen von psychischen Erkrankungen betroffen ist. In dieser Veröffentlichung sollen erste Recherchen und Studien vorgestellt werden, die sich mit psychischen Belastungen in der Bauindustrie befassen. Hierzu wurde zunächst der Stand der Technik bezüglich der psychischen Belastungen im Arbeitsalltag ermittelt. Außerdem wurde eine erste empirische Studie darüber durchgeführt, wie sich die Covid-19-Pandemie auf die mentale Gesundheit von Beschäftigten der Bauindustrie ausgewirkt hat. Abschließend sollen erste Ansätze beschrieben werden, wie mit psychischen Belastungen umgegangen werden kann.

## 2 Umgang mit psychischen Belastungen

### 2.1 Psychische Belastungen im Arbeitsumfeld

Die „[p]sychische Gesundheit ist nicht nur durch biologische und psychologische Faktoren bedingt, sondern ein vielschichtiger Prozess, der neben persönlicher Disposition und individuellem Verhalten maßgeblich von sozialen, sozioökonomischen, kulturellen und ökologischen Faktoren beeinflusst wird.“ Sie beschreibt das Ergebnis der Wechselbeziehungen zwischen Individuum und Umfeld bzw. Umwelt. [4]

Um Stresszustände zu verstehen, müssen die Ursachen (Belastungen) und die individuellen Folgen bzw. Auswirkungen (Beanspruchungen) von Stressauslösern, sogenannten Stressoren, identifiziert werden. In der Fachliteratur werden allgemeine Abgrenzungskategorien von Stressoren, wie z. B. innere und äußere, situative und zeitlich begrenzte sowie arbeitsorganisatorische und soziale, vorgeschlagen. Innerhalb der situativen Stressoren besitzen Mikrostressoren (alltägliche Ärgernisse) die höchste Eintrittswahrscheinlichkeit und werden zugleich gesellschaftlich als vermeintlich harmlos interpretiert. Solche kurzzeitigen Stressreaktionen können kumuliert zu ernstzunehmenden Beanspruchungen werden. [5] Langandauernde Wirkungen bedingen chronische Stressoren, wie z. B. anhaltender Termindruck. Gesundheitsschädliche Folgen können sowohl infolge kurzer und traumatischer Stressoren als auch verzögert durch kumulierte und moderate Stressoren entstehen. Zeitlich verzögerte posttraumatische Effekte der Psyche, die trotz Abwesenheit der ursprünglichen Stressoren entstehen, werden durch den *sleepers effect* beschrieben. Arbeitsorganisatorische Stressoren können anhand verschiedener Rollen [6] oder durch qualitative sowie quantitative Über- und Unterforderung [7] kategorisiert werden. Rollenstress gliedert sich in

Rollenkonflikt, -ambiguität und -überforderung. Bei zu hoher Komplexität (qualitativ) und/oder Zeitdruck (quantitativ) einer Aufgabenstellung wird von Überforderung gesprochen. Auch die Konsequenzen einer Unterforderung sind nicht zu unterschätzen. Ermüdungsähnliche Zustände, wie z. B. ein Monotoniezustand, eine herabgesetzte Wachsamkeit oder psychische Sättigung können daraus resultieren. Die Gesundheitsgefährdung infolge einer Unterforderung steht einer Überforderung keineswegs nach. Eine weitere Ursache können äußere Einflüsse im arbeitsorganisatorischen Kontext sein. Diese können als Arbeitsbedingungen bezeichnet werden. Dabei ist eine Kategorisierung in folgende fünf Themen aufgrund unterschiedlicher Stressoren und Beanspruchungen möglich [8]:

- Arbeitsaufgabe
- Arbeitsmittel
- Arbeitsumgebung
- Arbeitsorganisation
- Arbeitsplatz

Es können Stressreaktionsmodelle herangezogen werden, um die individuelle Verarbeitung und Reaktion auf Stressoren nachzuvollziehen. Hierunter fallen unter anderem das transaktionale Stressmodell [9], das allgemeine Adaptionssyndrom [10], die fight-or-flight Reaktion [11] oder das Job Demand-Controll Modell [12]. Individuelle Entscheidungsmuster bestimmen die Gesamtheit aller Prozesse der Strategie zur Stressbewältigung und auch die Festlegung als positiv und leistungsförderndem Eustress oder negativ beurteilten sowie destruktivem Distress, welcher gemeinhin als *Stress* betitelt wird. Das innere Beanspruchungsprofil entscheidet, ob eine Fehlbeanspruchung durch zu geringe oder zu starke Auswirkungen vorliegt. Ferner existiert das Phänomen der Mehrfachbelastung, welches durch multikriterielle Einflüsse entsteht und verstärkt bei Frauen oder bei Dissonanz unterschiedlicher Arbeits- und Lebensphasen auftritt [13]. Zugehörige Bewältigungsmöglichkeiten werden durch persönliche Ressourcen bestimmt, welche die Ausprägung von Stressoren mildern oder vermeiden können. Hierbei lassen sich Ressourcen ebenfalls in interne und externe oder soziale, personelle und organisationale Aspekte kategorisieren. Interne Ressourcen sind emotionszentriert und werden durch bereits vorhandene, individuelle Fähigkeiten gebildet. Externe Ressourcen sind situationsbedingt und demnach problemzentriert. Im Kontext des Arbeitsumfelds fallen darunter Kontrolle, Mitbestimmung bzw. Handlungsspielräume und soziale Unterstützung. Lösungsorientierte Ansätze zur Stressbewältigung werden adaptives Coping und die aktive Vermeidung oder Drogen- bzw. Genussmittelmissbrauch werden maladaptives Coping genannt. Symptome chronischer Fehlbelastungen können psychischer, physischer oder geistig kognitiver Natur sein.

## 2.2 Strategien individuelle Stressverarbeitung

Aufgrund der Tatsache, dass Stress individuell wirksam ist, können keine universellen Strategien für eine optimale Stressverarbeitung ausgesprochen werden. Jedoch erweisen sich bewährte Verfahren als förderlich, sodass im folgenden empirische Strategien innerhalb der in 2.1 aufgelisteten fünf Arbeitsbedingungskategorien dargelegt werden. Die durch eine Führungsperson wirksamen Strategien werden dabei außen vor gelassen, da diese im Zusammenhang mit dem betrieblichen Gesundheitsmanagements (BGM) in Kapitel 4.2. diskutiert werden.

Die Erfüllung einer komplexen sowie umfangreichen Arbeitsaufgabe kann zusätzlich durch bestehenden Termindruck erschwert werden. Die Aufteilung in weniger aufwendige Arbeitspakete sowie der Austausch mit einem Vorgesetzten über fehlende Kompetenzen können hilfreich sein, um Stress zu reduzieren. Hohe Verantwortung ist motivationsfördernd und kann daher zu einer erfolgreichen Erfüllung einer Aufgabe beitragen. Jedoch kann diese ab einem gewissen Ausmaß hemmend wirken. Weitere Voraussetzungen zur Bewältigung komplexer Aufgabenstellungen sind eine große Genauigkeit sowie eine dauerhafte Aufmerksamkeit.

Als Arbeitsmittel werden übergreifend alle technischen Komponenten am Arbeitsplatz, wie z. B. Werkzeuge, Maschinen oder Geräte zur Informationseingabe/-ausgabe bezeichnet. Probleme mit Arbeitsmitteln können stressfördernd sein. Zur Stressvermeidung werden die technische Sicherheit vor physischen Verletzungen sowie die notwendige Selbstwirksamkeit innerhalb der vertrauten Bedienung und Steuerung vorausgesetzt.

Arbeitsbedingungen können zum einen unter sozialen und zum anderen unter chemisch-physikalisch-biologischen Aspekten betrachtet werden. Zu den sozialen Arbeitsbedingungen gehören das Führungsverhalten der Vorgesetzten sowie das Betriebsklima. In diesem Zusammenhang können unterschiedliche Ausprägungen der Einschüchterung oder Angstzustände entstehen. Selbstwirksamkeit und Anerkennung können dem entgegenwirken. Die Anforderung sich am Arbeitsplatz immer angemessen verhalten zu müssen kann dazu führen, dass die inneren Empfindungen nicht immer mit dem äußeren Eindruck übereinstimmen (emotionale Dissonanz), was zu Spannungen führen kann. Beispiele für die chemisch-physikalisch-biologischen Arbeitsbedingungen sind die Beleuchtungs- und Farbverhältnisse, das Raumklima, die Schallübertragung sowie die Raumluftqualität. Sofern die Arbeitsbedingungen mangelbehaftet sind, können Beeinträchtigungen in Form von Konzentrationsschwierigkeiten ausgelöst werden, was eine sinkende Arbeitsqualität oder -leistung zur Folge haben könnte.

Sofern die direkte und örtlich verankerte Arbeitsumgebung thematisiert wird, wird vom Arbeitsplatz gesprochen. Störend können Einflussfaktoren, wie z. B. eingeschränkte Platz- oder Sichtverhältnisse sowie Barriere-

und Kommunikationsfreiheit sein. Die oberste Leitung eines Unternehmens besitzt die Haupteinflussmacht auf die Arbeitsumgebung. Eine Personalisierung des Arbeitsplatzes kann geringfügige Leistungssteigerungen durch die resultierende Identifikation hervorrufen.

Die Arbeitsorganisation beschreibt regulatorische Handlungen der Tätigkeitsreihenfolge oder Arbeitszeitgestaltung. Um individuellen Einfluss auf die Abfolge und Intensität der Stressoren zu haben, ist ein hohes Maß an Handlungsspielraum erforderlich. Der Handlungsspielraum ist i. d. R. mit einer Verantwortung verknüpft. Die Festlegungen von Prioritäten sowie Arbeitszeiten können in diesem Kontext als individuelle Strategien genannt werden.

Unkontrollierbarkeiten können grundsätzlich durch Strukturen, Absicherungsmaßnahmen oder Unterstützung durch Dritte minimiert oder vermieden werden. Grundsätzlich kann jedes Anforderungsniveau mit ausreichend sozialer Unterstützung durch Mitarbeiter oder Vorgesetzte sowie einer hohen personellen Kontrolle bewältigt werden. Der gesundheitskritische Bereich wird aus der Kombination eines hohen Anforderungsniveaus infolge hoher Komplexität, gepaart mit geringen Ressourcen gebildet. Die Steigerung personeller Ressourcen kann durch soziale Unterstützung sowohl von Kollegen als auch von Vorgesetzten ausgehen. Wobei zweiteres aus Sicht der immateriellen Gratifikation deutlich effektiver ist. [14] Es wird eine Stärkung des Selbstwertes initiiert, was die personellen Ressourcen ansteigen lässt. Dennoch ist ein gewisses Maß an Komplexität und weiteren Anforderungen erforderlich, um eine Unterforderung zu vermeiden.

Außerdem sollten ein Bewusstsein geschaffen sowie Reflexionsrunden oder Therapien etabliert werden, um die individuellen Stressreaktionen neu zu trainieren. Im Sinne der positiven Psychologie sollen dabei bisherige Herausforderung Eu- statt Distress erzeugen, um die Leistungsfähigkeit zu steigern sowie psychosomatische Erkrankungen zu vermeiden. Die Salutogenese [15 und 16] beruht auf der positiven Psychologie und ist eine Präventionsmaßnahme, durch die strategische Forderung einem günstig wirkenden Stressor mehr Aufmerksamkeit zu widmen. Ferner können gemäß dem Job Demand-Controll Stressreaktionsmodell, bestimmte Veränderungen in den wechselseitigen Kategorien Kontrolle, Unterstützung und Anforderungen positive Effekte erzielen. Dabei ist Kontrolle als eine Kombination aus Komplexität, Qualifikationsanforderungen, Handlungs- und Entscheidungsspielraum zu verstehen.

### 3 Auswirkungen der Covid-19-Pandemie auf die mentale Gesundheit

#### 3.1 Auswirkungen der Covid-19-Pandemie

In einer 2022 von Mauz et al. [17] veröffentlichten Studie stellen Mitarbeiter des Robert Koch Instituts (RKI) und der Charité-Universitätsmedizin Berlin ihre Ergebnisse zur Entwicklung der psychischen Gesundheit in der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland während der COVID-19-Pandemie vor. Ziel war es ein Ergebnis repräsentativ über den gesamten Pandemiezeitraum zu erheben. Von den Forschern wurden die drei folgenden Indikatoren über Telefonbefragungen untersucht:

- depressive Symptome von April 2019 bis Juni 2022
- Angstsymptome von April 2019 bis Juni 2022
- subjektive psychische Gesundheit von März 2021 bis Juni 2022

In Querschnittsstudien wurden monatlich Zufallsstichproben von jeweils ca. 1000 Erwachsenen und seit 2022 von monatlich ca. 3000 Erwachsenen in Deutschland erhoben. Die Methodik wurde nicht verändert, weswegen ein Vergleich der Ergebnisse über den Erhebungszeitraum durchgeführt werden kann. Während der ersten Covid-19-Welle im Sommer 2020 gingen die depressiven Symptome (Interessensverlust und Niedergeschlagenheit) im Vergleich zum selben Zeitraum 2019 zunächst zurück. Später nahmen diese in den Zeiträumen von Herbst 2020 bis Frühjahr 2021 und erneut Ende 2021 bis Frühjahr 2022 deutlich zu. Von dieser Entwicklung waren alle Geschlechter-, Bildungs- und Altersgruppen betroffen, doch besonders auffällig war der Anstieg bei Frauen, jüngeren Erwachsenen und über 65-Jährigen. Die Symptome sind bei Personen mit niedriger Bildung am häufigsten, allerdings wurde bei Personen mit höherer Bildung ein früherer und vor allem stetiger Anstieg festgestellt.

Auch die Ergebnisse zu Angstsymptomen (Ängstlichkeit und unkontrollierbare Sorgen) zeigen ähnliche Entwicklungen. Währenddessen sank der Anteil der Personen, die ihre psychische Gesundheit selbst als *sehr gut* oder *ausgezeichnet* einschätzten. Die eingesetzten Screening-Instrumente können nur auf eine erhöhte Symptombelastung und nicht auf die Häufigkeit von psychischen Störungen hinweisen. Die Messinstrumente lassen keine Diagnosestellung zu, aber dennoch rufen die Ergebnisse gemäß den Experten zur Wachsamkeit auf. Deswegen werden weitere Beobachtungen empfohlen, um die Entwicklung weiter beobachten zu können.

#### 3.2 Empirische Untersuchung zu Auswirkungen auf die Bauindustrie

Die Trends aus Kapitel 3.1 legen nahe, dass auch Mitarbeiter der Bauindustrie betroffen sind. Um dies besser

abschätzen zu können, wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit eine erste empirische Studie durchgeführt. Ziel dieser Studie war es herauszufinden, wie sich die Covid-19-Pandemie auf die mentale Gesundheit der Beschäftigten der Bauindustrie ausgewirkt hat. Zusätzlich wurde eine kleine Kontrollgruppe an Studierenden des Bauingenieurwesens befragt. Für die Studie wurde ein schriftlicher Fragebogen entworfen, der über die Internetseite [www.umfrageonline.de](http://www.umfrageonline.de) bereitgestellt werden konnte. Die Umfrage wurde in fünf Abschnitte eingeteilt. Die Ergebnisse sollen in den folgenden Ausführungen zusammengefasst werden.

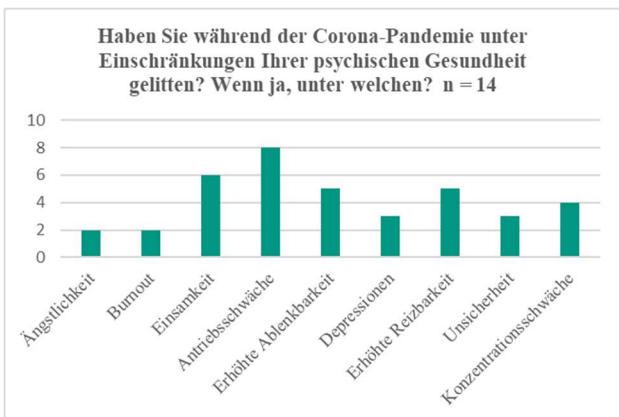
Im ersten Abschnitt wurden die demografischen Daten des Befragten aufgenommen. Diese konnten bei der Auswertung dazu genutzt werden, um die Ergebnisse verschiedener Personengruppen zu untersuchen. Um Probanden für die Studie zu gewinnen, wurden Bauunternehmen mit Hauptsitz in Deutschland und Luxemburg im Juli 2022 direkt angeschrieben. Insgesamt haben 37 Beschäftigte im Alter von 25 bis 65 Jahren den Fragebogen verwertbar ausgefüllt, wobei 31 diesen bis zum Ende ausgefüllt haben. Von den Probanden waren 28 (ca. 76 %) männlich, 8 (ca. 22 %) weiblich und eine (ca. 2 %) divers. 21 (56,76 %) Befragte gaben an Angestellte zu sein. Hinzu kommen 8 (21,62 %) Personen die angaben leitende Angestellte zu sein. Vervollständigt wurde die Stichprobe durch 6 Geschäftsführende und 2 Werkstudenten. 33 der 37 Befragten haben einen unbefristeten Arbeitsvertrag. Die Berufserfahrung reicht von weniger als 5 Jahren bis hin zu über 20 Jahren. Ca. 65 % der Probanden arbeiten in Unternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitern. Die restlichen Probanden teilen sich gleichmäßig auf Unternehmen mit weniger als 10 Mitarbeitern bis hin zu Unternehmen bis zu 250 Mitarbeitern auf. Neben den Beschäftigten wurden zusätzlich 15 Studierende befragt.

Der zweite Abschnitt befasste sich mit der psychischen Gesundheit bei der Arbeit. Zu Beginn wurde erfragt, ob die Probanden mit Ihrem Vorgesetzten über psychische Probleme reden. 10 (ca. 27,8 %) Probanden gaben an mit ihrem Vorgesetzten über psychische Probleme zu reden. Ergänzend gaben 23 (ca. 65,7 %) an, dass das Thema psychische Gesundheit auf der Arbeit angebracht ist und das darüber geredet werden kann. Um die Gründe für diese Differenz besser fassen zu können wurde ergänzend gefragt, warum die Probanden nicht mit ihrem Vorgesetzten über ihre mentalen Probleme reden würden. Das Ergebnis dieser Frage ist in Bild 1 dargestellt. In einem Freitextfeld wurden zusätzlich folgende Gründe genannt: Privatangelegenheiten, es geht den Chef nichts an, fehlende Empathie und Unverständnis. Außerdem wurde genannt, dass dies nicht erforderlich ist, da entweder keine Probleme vorhanden sind oder es entsprechendes Fachpersonal dafür gibt.



**Bild 1** Warum Probanden nicht mit Ihrem Vorgesetzten über mentale Probleme reden

Außerdem wurde thematisiert, wie die Probanden allgemein mit dem Thema psychische Gesundheit umgehen. Hierzu wurde zunächst betrachtet, wie häufig sich die Probanden um Ihre psychische Gesundheit kümmern. 17 der 37 Probanden gaben an sich manchmal um ihre psychische Gesundheit zu kümmern. Bei 9 Probanden ist dies sogar öfter der Fall. Lediglich 8 gaben an, dass Ihr Arbeitgeber Kurse oder Seminare zum Umgang mit der psychischen Gesundheit anbietet. 4 dieser 8 würden solche Angebote auch wahrnehmen. Neben diesen 4 haben 8 weitere Probanden Interesse an solchen Angeboten. 12 von 32 Probanden gaben an, dass sich Ihre psychische Gesundheit während der Corona-Pandemie verschlechtert hat. In einer weiteren Frage wurden die Einschränkungen abgefragt, unter denen die psychische Gesundheit die Probanden während der Corona-Pandemie gelitten haben. In Bild 2 sind Ergebnisse der Frage zusammengefasst. In dem Feld Sonstiges wurde einmal die Einschränkung Alkoholproblem eingetragen.



**Bild 2** Einschränkungen der psychischen Gesundheit während der Corona-Pandemie

In einem weiteren Abschnitt (Tabelle 1) wurden die Probanden darum gebeten Ihre psychische Gesundheit zu bewerten. Außerdem wurde abgefragt, ob die Probanden von verschiedenen Auswirkungen der Corona Pandemie betroffen waren und wie sich bestimmte persönliche Merkmale während der Pandemie verändert haben.

**Tabelle 1** Bewertung psychische Gesundheit sowie Einfluss der Corona-Pandemie

Wie würden Sie ihre Psychische Gesundheit momentan bewerten?					
0 (sehr schlecht)	1	2	3	4	5 (sehr gut)
0	2	6	6	10	7
Unter welchen Auswirkungen der Corona Pandemie haben Sie am meisten gelitten?					
Auswirkungen	ja	nein	teilweise		
Soziale Isolation	10	14	7		
Tragen von Masken	12	17	3		
Verlust an sozialem Kontakt	10	13	9		
Kommunikationsprobleme	7	18	6		
Veränderung der Arbeitsbedingungen	6	22	3		
Schlaflosigkeit	4	25	2		
Übermäßiger Stress	7	18	6		
Während der Corona Pandemie...					
persönliches Merkmal	a	b	c	d	e
...hat sich meine Produktivität verschlechtert.	1	8	9	10	4
...hat sich meine psychische Gesundheit verschlechtert.	3	6	7	9	7
...hat sich meine Motivation verschlechtert.	2	11	5	10	4
...war ich mit meinem Vorgesetzten zufrieden, wie er/sie die Führung übernommen hat.	5	13	6	7	0
a = stimme voll und ganz zu; b = stimme zu; c = neutral; d = stimme nicht zu; e = stimme überhaupt nicht zu					

In einem weiteren Abschnitt wurde das Thema Stress thematisiert. Auf die Frage hin, warum die Probanden in Stress geraten (n = 32), wurde von 23 Probanden angegeben, dass ein Stresszustand eintritt, wenn zu viele Aufgaben zeitgleich erledigt werden müssen. Auch Termindruck (16) und nicht wissen, wie mit Konfliktsituationen umgegangen werden soll (13) wurden angegeben. Ergänzend wurden folgende persönliche Merkmale angegeben, die zum Stress beitragen:

- Ungeduld (11)
- Sie können nicht Nein sagen (17)
- Perfektionismus (18)
- Sie fragen ungerne nach Hilfe (7)

Zur Stressbewältigung wurden verschiedene Strategien und Aktivitäten angekreuzt. Zu den häufigsten Antworten gehörten Sport (22), Faulenzen/Entspannen (14), Treffen von Familie und Freunden (16) sowie Hobbies (18), wie z. B. Musik spielen, Spazieren gehen und so weiter. Viele andere Strategien und Aktivitäten wurden vereinzelt angekreuzt darunter auch Alkohol- (4), Nikotin- (2), Koffein- (6) und Drogenkonsum (2), was je nach Intensität zu einer Gefährdung der Gesundheit führen kann.

Im letzten Abschnitt wurden noch Fragen zur Arbeitstätigkeit selbst gestellt (Tabelle 2). Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass die Themen Stress und Erschöpfung unter den Probanden eine Rolle spielen. Zwar sind viele Probanden mit deren Arbeit zufrieden, aber zeitgleich haben Sie nicht ausreichend Zeit, um Ihre Aufgaben zu erledigen.

**Tabelle 2** Aussagen zur Arbeitstätigkeit

Während der Arbeit...					
Aussage	a	b	c	d	e
fühle ich mich überfordert.	0	1	6	17	7
bin ich ausgelaugt.	1	4	9	13	4
bin ich voller Energie.	2	13	10	5	1
habe ich schon einmal unter einem Burn-out gelitten.	2	3	4	6	16
bin ich gestresst.	0	9	14	8	0
kommt es vor, dass ich nicht genug Zeit habe, um eine Aufgabe zu erledigen.	4	13	11	3	0
habe ich Einfluss auf die Arbeit, die ich erledigen muss.	5	20	4	2	0
kann ich mein gesamtes Fachwissen anwenden.	5	19	4	2	1
habe ich ein gutes Verhältnis zu meinen Kollegen.	11	17	2	0	1
a = stimme voll und ganz zu; b = stimme zu; c = neutral; d = stimme nicht zu; e = stimme überhaupt nicht zu					
Geben Sie an, ob Sie einverstanden sind oder nicht:					
Aussage	ja	nein	teilweise	keine Aussage	
Ich bin zufrieden mit meiner Arbeit.	20	0	11	0	
Ich fühle mich durch meine Arbeit ausgebrannt.	1	20	9	1	
Ich bin oft bei meiner Arbeit gestresst.	3	11	17	0	

## 4 Umgang mit psychischen Beanspruchungen in der Bauindustrie

### 4.1 Wirkungen von Stress auf Beschäftigte der Bauindustrie

Die Ursachen für psychische Beanspruchungen in der Bauindustrie können auf verschiedenen Ebenen betrachtet werden. Ursachen können seitens der obersten Leitung anhand von diversen Aspekten identifiziert werden. Dazu zählen die Unwissenheit über den vorliegenden psychischen Zustand der Mitarbeiter, keine Mitbestimmung von Arbeitnehmern, keine Erfahrungen oder kein Interesse innerhalb der Etablierung sowie Fortführung eines BGMs. Als gesellschaftliche Ursache kann die fehlende bzw. verzögerte Entstigmatisierung der *Männerdomäne Bau* [18] genannt werden. Die rudimentären Rollenbilder bewirken eine indirekte gesellschaftliche Belastung, woraufhin emotionale Dissonanz ausgelöst werden kann sowie die empfundene Zwangsanforderung, diesem Rollenbild zu entsprechen. [19]

Bei Tätigkeiten mit hoher und dauerhafter physischer Überlastung kann eine steigende Bereitschaft des maladaptiven Copings in Form von Medikamentenmissbrauch verzeichnet werden, wobei der Stressor bzw. die Gefahr nicht an ihrem Ursprung behoben, sondern temporär gemildert wird.

Psychische Überforderung infolge von Termin-, Qualitäts- oder Kostendruck kann sowohl als kumulierte

Kurzzeitbelastungen als auch als Langzeitbelastungen Volkskrankheiten wie z. B. kardiovaskuläre Störungen, Diabetes, Depressionen oder Burnout verursachen. Besonders gefährdet sind verantwortungs- und risikobehaftete Berufsbilder wie beispielsweise Projektleiter, Bauleiter oder Bauüberwacher. Gegenteilig dazu kann Unterforderung ähnliche Symptome und chronische Erkrankungen initiieren, welche allerdings durch Monotoniezustände ausgelöst werden. Hierfür ist die Abwesenheit von Handlungsspielraum oder Mitbestimmungsrecht kennzeichnend, wodurch die Selbstwirksamkeit schwindet. Dies kann unter Umständen beispielsweise auf Fach(vor)arbeiter der Bauindustrie zutreffen. Ferner können besondere Randbedingungen im Bau regelmäßige Nacharbeiten erfordern. Nacharbeit stellt eine suboptimale Anpassung an den Aktivitätszyklus des menschlichen Körpers dar, wodurch außerordentliche und äußere psychische Belastungen entstehen können.

### 4.2 Erste Empfehlungen für Maßnahmen zum Umgang mit Stressoren

Die Maßnahmen zum Umgang mit Stressoren müssen zum einen auf der individuellen Seite des Arbeitnehmers und zum anderen an deren Ursprung aus betrieblicher Managementsicht ansetzen. Hierfür kann die Etablierung eines betrieblichen Gesundheitsmanagements (BGM) sinnvoll sein. Dieses hat das Ziel, effiziente und wirkungsvolle Gesundheitsförderung mit geringem Aufwand zu betreiben. Des Weiteren soll die oberste Leitung für die Thematik der psychischen Belastungen bzw. Beanspruchungen sensibilisiert werden. Um den Mehrwert wirtschaftlich zu messen, kann eine vertiefende individuelle Betrachtung jedes Arbeitnehmers durchgeführt werden. Im Zuge einer Ist-Zustandserhebung, können die Auswirkungen vorhandener Arbeitsbedingungen auf das psychische und physische Wohlergehen analysiert werden. Auf dieser Basis kann ein Kosten-Nutzen-Kalkül bzw. Return on Investment (ROI) ermittelt werden.

Um den Aufwand zumindest zu Beginn gering zu halten, können Checklisten für die fünf Kategorien der Arbeitsbedingungen herangezogen werden, um potenzielle und bereits wirkende Stressoren im Sinne einer Gefährdungsbeurteilung zu identifizieren. Daraufhin können effektive Maßnahmen unterschiedlichen Umfangs individuell für die befragte Zielgruppe abgeleitet und umgesetzt werden, wobei regelmäßige Wirkungskontrollen vorgesehen werden sollten. Erste Entwürfe solcher Checklisten sind bereits in Arbeit und sollen in weiterführenden Untersuchungen des TMBs noch verifiziert und validiert werden. Der Aufbau der Checklisten beruht auf Fragestellungen zu potenziellen und gängigen arbeitsorganisatorischen Stressoren sowie Symptomen. Zudem besteht die Möglichkeit Fragestellungen aus bereits bewährten Maßnahmen zu entwickeln. Die auf der einfachen Anwendung beruhende Auswertung kann beispielsweise auf einem abhaken bzw. ankreuzen der zutreffenden Aussagen in der Checkliste beruhen. Daraus können übergeordnete Themenfelder identifiziert und im



weiteren Verlauf analysiert werden. Mithilfe dieser Checklisten können ohne vorausgehende Befragungen eine objektive temporäre Ist-Zustandserfassung oder eine Langzeitbefragung durchgeführt werden, um die Zufriedenheit der Mitarbeiter sowie die wirtschaftlichen Auswirkungen, z. B. durch reduzierte Fehltag, zu erfassen. Aufgrund der potenziellen Datenmengen sind diese Betrachtungen für mittelständische bis große Unternehmen tendenziell lukrativer. Sinnvoll erscheint eine nach Stressmerkmalen getrennte Erhebung. Darauf aufbauend können Maßnahmen für gezielte Berufsfelder der Bauindustrie, wie z. B. Planungsingenieure, Facharbeiter oder Bauleiter, abgeleitet werden. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen sollten kleine Unternehmen zu Beginn die Entwicklung und Umsetzung individueller Maßnahmen fokussieren, um Fehlinvestitionen in potenziell unwirksame allgemeingültig übergreifende Maßnahmen zu vermeiden.

Aus den einzelnen Aspekten bzw. Fragestellungen der Checklisten können gemeinsame Ziele abgeleitet werden, die zur Transparenz gegenüber der obersten Leitung vorgelegt werden können. Die von der obersten Leitung selbst durchgeführten Erfassungen und Auswertungen sind anfällig für Verzerrungen der Bewertung bezüglich des tatsächlichen emotionalen und physischen Wohlbefindens sowie dem sozialen Umgang der Mitarbeiter.

Neben individuellen Strategien, welche für die Umsetzung einen notwendigen Freiraum und die Möglichkeit zur Selbstwirksamkeit jedes Arbeitnehmers bedürfen, müssen Maßnahmen seitens der Führungskräfte umgesetzt werden. Darunter fällt z. B. der Handlungsspielraum, welcher unter anderem durch die Aspekte Mitbestimmung, Verantwortung und Entscheidungsbefugnis mit beeinflusst wird. Des Weiteren sollten die Arbeitsplatzbedingungen an die Arbeitnehmer angepasst werden. Dabei ist der Fokus auf einen ergonomisch einwandfreien Zustand sowie die Barriere- und Kommunikationsfreiheit zu legen, damit Arbeitnehmer die Möglichkeit auf vollständige Entfaltung erhalten. Darunter fallen auch Aktivpausen, Trainingsmöglichkeiten, gemeinsame Spaziergänge oder turnusmäßige Sprechstunden mit ausgebildeten Arbeitspsychologen oder qualifizierten Beschäftigten, welche für eine bessere und transparentere interne Kommunikation innerhalb der Aufbauorganisation sorgen.

Zudem sollte auf die Vermeidung einer Regulationsunsicherheit hingearbeitet werden. Demnach sollte keine Rollenambiguität eines Arbeitnehmers infolge unklarer oder nicht kalkulierbarer Aufgabenzuweisung entstehen, denn diese kann qualitative Überforderung auslösen. Seitens der obersten Leitung muss eine konkrete und messbare Aufgabenzuweisung erfolgen. Diese soll an den Kompetenzen des Arbeitnehmers orientiert werden und innerhalb eines realistischen Zeitrahmens erfolgen. Die Aufteilung von Kompetenzbereichen in Kombination von Unterstützungseffekten durch agiles Arbeiten, kann ebenfalls eine passende Maßnahme darstellen. Ferner sind sowohl während als auch am Ende einer Bearbeitungsperiode, in

regelmäßigen Abständen Gratifikationen und soziale Unterstützung notwendig.

Als materielle Gratifikation können Lohnverhandlungen bzw. ein anreizbasiertes Vergütungssystem, Weiterbildungen bzw. Schulungen, als auch die Aussicht auf beruflichen Aufstieg förderlich sein. Dabei bewirken Weiterbildungen nicht nur eine Steigerung persönlicher Kompetenzen und somit auch Ressourcen, sondern tragen zu einer leichteren positiven Bewältigung von komplexen Aufgaben bei.

## 5 Zusammenfassung

Stressoren sind individuell wirksam und können nicht mittels pauschalisierter Maßnahmen für jeden Arbeitnehmer angewandt werden. Dennoch kann beispielsweise mithilfe eines betrieblichen Gesundheitsmanagements (BGM) mit dem Fokus auf psychische Belastungen präventiv oder aktiv agiert werden. Ziel des BGMs sind die Vermeidung von Leistungsschwankungen, Reduzierung krankheitsbedingter Ausfälle inklusive resultierendem wirtschaftlichen Schaden sowie die Vermeidung von psychischem, physischem oder sozialem Unwohlsein. Zudem kann das Unternehmensimage und die Arbeitgeberqualität gesteigert werden. Im Unternehmen sollen dabei Maßnahmen wie Mitbestimmungsrecht, berufliche Aufstiegschancen und Vertrauenssteigerung, Kompetenzförderungen, Aktivpausen oder agiles Arbeiten eingeführt werden.

Bei der Gestaltung der Arbeitstätigkeiten ist darauf zu achten, dass ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Komplexität sowie Umfang einer Aufgabe besteht. Eine materielle Gratifikation kann einen zusätzlichen Anreiz bieten. Allerdings ist zu empfehlen, dass die steigende Verantwortung in einem guten Verhältnis zu einer ausreichend immateriellen Gratifikation steht.

Die Sensibilisierung für das Thema psychische Belastung im Bauwesen muss weiter vorangetrieben werden. Die Ergebnisse der durchgeführten Befragung haben gezeigt, dass Arbeitnehmer psychischen Belastungen ausgesetzt sind. Die Zahlen der Krankenkassen zeigen, dass das Thema mentale Gesundheit in der Mitte unserer Gesellschaft angekommen ist und dass sich die Bauindustrie deswegen damit auseinandersetzen sollte. Hierbei sollte ebenfalls eine Entstigmatisierung rudimentärer Rollenbilder angestrebt werden. Ein besonderes Augenmerk sollte auf die gesundheitlichen Auswirkungen sozialer Stressoren infolge einer Verharmlosung von Stresssituationen als *allgegenwärtige Belastungssituation* gelegt werden. Auch die Am TMB durchgeführten Untersuchungen zum Thema Auswirkungen der Covid 19-Pandemie haben gezeigt, dass das Thema psychische Belastungen in der Bauindustrie nicht vernachlässigt werden sollte. Zwar handelt es sich um eine relativ geringe Stichprobe, dennoch bestätigen die Ergebnisse, dass Probanden unter den Folgen der Pandemie gelitten haben. Es wurde ebenfalls bestätigt, dass Stress für viele Probanden ein Thema im Zusammenhang mit ihrer Arbeitstätigkeit ist. Am TMB werden auch in Zukunft weitere Untersuchungen in diesem Themenbereich durchgeführt, um

maßgeschneiderte Muster für die Bauindustrie bereitstellen zu können.

## 6 Literatur

- [1] Brandt, M.: Kranke Psyche: Höchststand bei Fehltagen im Jahr 2021. aus Statista GmbH Homepage, 2022.
- [2] Statista: *Statistiken zu psychischen Erkrankungen*. aus Statista GmbH Homepage, 2022.
- [3] O'Driscoll, M. P.: The interface between job and off-job roles: Enhancement and conflict. In: Cooper, C.; Robertson, I. T.: *International Review of Industrial and Organizational Psychology 1996*, Wiley, S. 279–306., 1997.
- [4] Neuner, R.: *Psychische Gesundheit bei der Arbeit*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [5] Marschall, J.; Hildebrandt-Heene, S.; Kleinlercher, K.-M.; Nolting, H.-D.: *Gesundheitsreport 2020. Stress in der modernen Arbeitswelt. Sonderanalyse: Digitalisierung und Homeoffice in der Corona-Krise. DAK-Gesundheit*. Hamburg (Beiträge zur Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung, 33), 2020.
- [6] Katz, D.; Kahn, R. L.: *The social psychology of organizations*. 2d ed. New York: Wiley,.
- [7] Frankenhaeuser, M.; Gardell, B.: Underload and overload in working life: outline of a multidisciplinary approach. In: *Journal of Human Stress 2* (3), S. 35–46, 1978.
- [8] Joiko, K.; Schmauder, M.; Wolff, G.: *Psychische Belastung und Beanspruchung im Berufsleben: erkennen - gestalten*. 5. Aufl. DruckVerlag Kettler GmbH: Bönen/Westfalen, 2010.
- [9] Lazarus, R. S.: *Stress and emotion. A new synthesis*. New York: Springer Publishing Company, 1999.
- [10] Selye, H.: THE STORY OF THE ADAPTATION SYNDROME. In: *The American Journal of the Medical Sciences 224* (6), S. 711, 1952.
- [11] Cannon, W. B.: Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear and Rage. In: *Southern Medical Journal 22* (9), S. 870, 1922.
- [12] Karasek, R. A.: Job Demands, Job Decision Latitude, and Mental Strain: Implications for Job Redesign. In: *Administrative Science Quarterly 24* (2), S. 285, 1979.
- [13] Barnett, R. C.; Hyde, J. S.: Women, men, work, and family. An expansionist theory. In: *The American psychologist 56* (10), S. 781–796, 2001.
- [14] Peter, R.: Berufliche Gratifikationskrisen und Gesundheit. In: *Psychotherapeut 47* (6), S. 386–398, 2002.
- [15] Antonovsky, A.: The structural sources of salutogenic strengths. In: Cary L. Cooper (Hg.): *Personality and stress. Individual differences in the stress process*. Repr. Chichester: Wiley (Wiley series on studies in occupational stress), 1993.
- [16] Antonovsky, A.: *Salutogenese. Zur Entmystifizierung der Gesundheit*. Hg. v. Alexa Franke. Tübingen: dgvt Verlag (Forum für Verhaltenstherapie und psychosoziale Praxis, Band 36), 1997.
- [17] Mauz, E.; Walther, L.; Junker, S.; Kersjes, C.; Damerow, S.; Eicher, S.; Hölling, H.; Müters, S.; Peitz, D.; Schnitzer, S.; Thom, J.: Time trends of mental health indicators in Germany's adult population before and during the COVID-19 pandemic. In: *Public Health 11*, 2023.
- [18] Initiative Klischeefrei: *Frauen in Bauberufen: Noch weit entfernt vom Normalfall*. Unter Mitarbeit von kompetenzz. Hg. v. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend, 2021.
- [19] Williams, J. E.; Best, D. L.: *Sex and psyche. Gender and self viewed cross-culturally*. 1. pr. Newbury Park, Calif.: Sage Publ (Cross-cultural research and methodology series, 13), 1990.

# Bewertung von Techniken für die Ermittlung von Nutzeranforderungen an Bauwerken

## Evaluation of techniques for determining user requirements for buildings

Philipp Compagnone, Universität Kassel, Institut für Bauwirtschaft, 34125 Kassel, philipp.compagnone@uni-kassel.de

### Kurzfassung

Das Verständnis der Beweggründe für ein neues Bauprojekt durch eine umfassende und detaillierte Identifizierung der Nutzeranforderungen ist ein entscheidender Aspekt für eine erfolgreiche Projektrealisierung. Anstelle der Frage „Was soll gebaut werden?“ dient die Frage „Warum soll gebaut werden?“ als Grundlage für Projektentwickler, Architekten und Ingenieure, um technische Lösungen zu entwickeln, die den Bedarf von Bauherrn und späteren Nutzern optimal bedienen. Dieser Aufsatz präsentiert verschiedene Techniken zur Ermittlung von Nutzeranforderungen und untersucht ihre Anwendbarkeit im Kontext der Bedarfsplanung im Bauwesen.

### Abstract

Understanding the motivations behind a new construction project through comprehensive and detailed identification of stakeholder requirements is a critical aspect of successfully completing construction projects. Instead of asking "What should be built?", the question "Why should be built?" serves as the basis for project developers, architects, and engineers to develop technical solutions which best serve the needs of building owners and subsequent users. This paper presents various techniques for determining user requirements and explores their applicability in the context of demand planning in construction.

### 1 Einleitung

Der Fokus der Anwendung von Lean Construction Management liegt bisweilen hauptsächlich auf der Herstellungsphase des Bauwerks. Durch verschiedene Methoden soll der Bauablauf schlanker, kundenorientierter und verschwendungsärmer gestaltet werden. Dabei sind zu diesem Zeitpunkt schon circa 80 % der Gesamtlebenszykluskosten determiniert. Aus diesem Grund lohnt sich der Blick in Richtung der frühen Ablaufphasen eines Bauprojektes, in welchen das Projektergebnis noch mit verhältnismäßig geringem Aufwand beeinflusst werden kann.

Die in diesem Aufsatz als frühe Phasen benannten Projektablaufphasen werden gemäß DIN 18205 - Bedarfsplanung im Bauwesen – als Definitions- und Ideenphase benannt und sind vor der Planungsphase angeordnet [1]. Betrachtet man das von *Ballard* entwickelte Lean Project Delivery System (LPDS) werden diese Phasen als Projektdefinitionsphase und Lean Design Phase bezeichnet [2]. In diesen lassen sich dabei zwei besonders relevante „Kunden­gruppen“ eruieren, zum einen der Auftraggeber und zum anderen die späteren Nutzer. Diese beiden Stakeholdergruppen lassen sich demnach als „Kunden“ im Sinne des Lean Construction Managements begreifen. Um den Anforderungen dieser Gruppen gerecht werden zu können, ist es essenziell, dass die Anforderungen nicht nur

ermittelt, sondern auch verstanden werden. Zwar sind die Ziele und Anforderungen des Bauherrn gemeinhin relativ gut definiert, das Erwartungsfeld der heterogenen Nutzergruppe ist dagegen häufig sehr undurchsichtig. Ferner verfügen die späteren Nutzer in der Regel nur über ein sehr eingeschränktes bautechnisches Fachwissen, was die Möglichkeit, Bedürfnisse und Wünsche zu formulieren, weiter einschränkt. Die Kombination aus einem undurchsichtigen Erwartungsfeld und technisch unpräzise formulierten Anforderungen, erschwert es fachlich spezialisierten Projektbeteiligten den konkreten Bedarf zu ermitteln. Entsprechend kann es schon vor und während der Planungsphase zu Missverständnissen kommen. Durch das eingeschränkte technische Verständnis verstehen fachfremde Stakeholder Planunterlagen nur bedingt, was wiederum dazu führen kann, dass sie erst in der Bauphase ein Gefühl für das Bauprojekt entwickeln. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich die Fragestellung, wie die Anforderungen der Stakeholder besser in den Planungsprozess integriert werden können. Der vorliegende Aufsatz befasst sich mit Techniken zur Ermittlung von Stakeholderanforderungen und bewertet diese aus ingenieurtechnischer Sicht. Daran schließt sich ein Ausblick für die weitere Verwendung dieser ermittelten Anforderungen, in Form der Voice of Stakeholder, in einer für das Bauwesen angepassten Quality-Function-Deployment-Methodik an.

DOI: 10.17185/dupublico/79103

## 2 Bedarfsplanung im Bauwesen

Die Erarbeitung des Bedarfs an ein Bauprojekt ist maßgeblicher Teil der Projektentwicklung. Ohne eine umfangreiche Auseinandersetzung mit dem Bedarf des Bauherren kann kein zielgerichteter Planungsprozess stattfinden, in dem die Anforderungen des Bauherren umgesetzt werden. Wird diese kausale Verkettung weitergeführt, folgt auf eine nicht bedarfsbezogene Planung eine Herstellungsphase, die von Änderungen bestimmt ist. Zuletzt kann keiner der Projektbeteiligten von einem erfolgreich abgeschlossenen Projekt sprechen und der Bedarf ist nicht vollständig gedeckt.

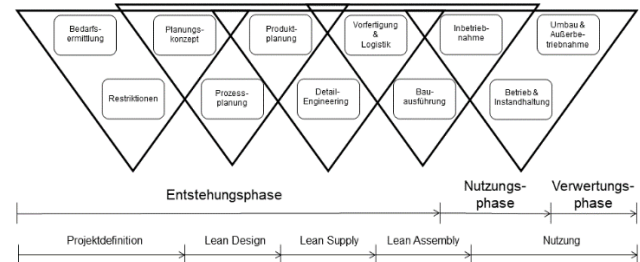
Abschnitt 2 untersucht nachfolgend die Bedarfsplanung gemäß DIN 18205, welche Teil der Projektentwicklung nach AHO Heft Nr. 19 ist. Neben dieser Betrachtung des nationalen Vorgehens, wird die Einbindung der Bedarfsermittlung im LPDS als internationales Beispiel untersucht.

### 2.1 Grundlagen der DIN 18205

Die Bedarfsplanung nach DIN 18205 ist ein ergebnisoffener und iterativer Prozess, der einen wichtigen Bestandteil im Lebenszyklus eines Bauwerks darstellt. Ergebnis der Bedarfsplanung ist der Bedarfsplan, der die Anforderungen, Ziele und Bedürfnisse der Bedarfsträger wie Bauherr, Nutzer und Betreiber enthält. Dieser stellt ein Bewertungswerkzeug für die Anforderungserfüllung von planerischen, baulichen, technischen und organisatorischen Lösungen der spezifischen Bedarfsträgerbedürfnisse dar [1]. Die DIN 18205 beinhaltet neben dem exemplarischen Vorgehen im Hauptteil auch Checklisten, die bei der Durchführung unterstützen sollen. Den Anwendern bleibt die Wahl der Durchführungs- und Niederschriftform allerdings frei überlassen. Zeitlich liegt die Bedarfsplanung vor der Leistungsphase 1 – Grundlagenermittlung – der HOAI und stellt die Grundlage für Machbarkeitsstudien und Planungswettbewerbe dar [3]. Die ersten vier Prozessschritte bilden die Bedarfsplanung im engeren Sinne. Nach dem Erfassen der relevanten Projektdaten, zu denen unter anderem die bedarfsauslösenden Gründe sowie der Finanz- und Zeitrahmen gehören, werden die Entwicklungsziele der Bedarfsträger erfasst. Dies erfordert eine Stakeholderanalyse, um möglichst umfassend interessierte Parteien identifizieren und berücksichtigen zu können. Daran anschließend werden die Projektziele festgelegt. Im darauf folgenden Prozessschritt werden Informationen zusammengetragen, die die Projektziele mit qualitativen und quantitativen Daten hinterlegen. Der letzte Schritt der Bedarfsplanung im engeren Sinne ist die Erstellung des Bedarfsplans. In diesem Dokument werden alle gesammelten Ergebnisse und Informationen inklusive des Erstellungsprozesses dokumentiert. Nach der Freigabe des Bedarfsplans durch den Auftraggeber wird dieser mit allen Projektbeteiligten geteilt [1].

### 2.2 Bedarfsermittlung im LPDS

Das LPDS wurde von *Glenn Ballard* entwickelt und erstmals im Jahre 2000 veröffentlicht. In den darauffolgenden Jahren wurde es kontinuierlich weiterentwickelt und mit Inhalten gefüllt. Das LPDS basiert auf dem Lean-Construction-Management-Ansatz, bei dem die Prinzipien des Lean Managements auf die Bauindustrie übertragen werden. Das Besondere am Konzept des LPDS ist die phasenübergreifende Verzahnung der einzelnen Ablaufphasen des Projektlebenszyklus eines Bauprojektes. In Abb. 1 ist das Prozessmodell des LPDS dargestellt.



**Abbildung 1** Prozessmodell des LPDS (in Anlehnung an Racky; Simon 2019 [4])

Das LPDS beginnt mit der Projektdefinition, die in drei Prozessschritten unterteilt ist. In der ersten Phase des LPDS wird der Bedarf des Bauherren ermittelt. Laut *Ballard und Zabelle* ist es von entscheidender Bedeutung, die Sprache des Kunden in die Sprache der Architekten und Fachplaner zu übersetzen. Das Ziel besteht darin, sprachlich formulierte Anforderungen, die möglicherweise ungenau sind, in eine technisch eindeutig definierte Form zu überführen. Dieser Prozess sollte als kollaborative Tätigkeit verstanden werden, an der möglichst viele Projektbeteiligte beteiligt sind. Neben den Zielen und Anforderungen des Bauherren müssen auch die Belange externer Stakeholder wie Behörden oder Anwohner in diesem Kontext ermittelt werden. Darüber hinaus kann das Bauwerk selbst oder die geplante Nutzung weitere Anforderungen mit sich bringen, welche berücksichtigt werden müssen [5]. An den Prozess der Bedarfsermittlung schließt die Erarbeitung von etwaigen Restriktionen an. Der Kosten- und Terminrahmen aber beispielsweise auch behördliche Anforderungen bilden die Rahmenbedingungen für das Projekt. Das Planungskonzept bildet die Grundlage für die wirtschaftliche, zeitliche und technische Planung des Bauprojekts. Es basiert auf den Ergebnissen der vorangegangenen Ermittlung der Anforderungen und Rahmenbedingungen [6]. Die Planung der (Bau-)Planung und die Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten in dieser frühen Phase sind gemäß *Ballard und Zabelle* von entscheidender Bedeutung für den weiteren Verlauf des Projekts [5].

### 2.3 Entwicklung der Problemstellung

Unabhängig davon, ob die Projektentwicklung gemäß AHO im deutschsprachigen Raum oder das LPDS als internationales Projektentwicklungsmodell herangezogen wird,

Grundbaustein in der Entwicklung von Bauprojekten ist die Erfassung des Bedarfs.

Der Bedarf beschreibt die Anforderungen, die ein Bauherr und die weiteren Bedarfsträger an ein Gebäude haben, unabhängig davon, ob dieses neu errichtet wird oder eine Umbaumaßnahme durchgeführt werden soll. Bedarfsträger sind alle betroffenen bzw. interessierten Parteien, mit anderen Worten die Stakeholder bzw. die Kunden des Projektes. Um eine Planung entlang der Stakeholderbedürfnisse gestalten zu können, müssen zunächst die Stakeholder identifiziert und dann deren Anforderungen, die Voice of Stakeholder (VoS), ermittelt werden.

Das Ausrichten der Planung entlang der ermittelten VoS erfordert allerdings, dass zweifelsfrei verstanden wird, was der Bauherr bzw. die Stakeholder bauen möchten. Das setzt voraus, dass diese selbst wissen, was der technische Bedarf ist. In der Regel verfügen Stakeholder wie Nutzer, Investoren und Auftraggeber über ein eingeschränktes bautechnisches Fachwissen [7]. Die Frage „was gebaut werden soll?“, ist in sofern also nicht zielführend. Das „was“ impliziert den Bauegegenstand, also konkrete Bauteile oder Ähnliches. Mit eingeschränktem Fachwissen ist dieser jedoch nur ungenau zu beschreiben. Es ist die Aufgabe der beteiligten Projektentwickler und Planungsingenieure das „Was“ zu erarbeiten. Der Bedarf ergibt sich für die beteiligten Experten vielmehr aus der Frage „Warum soll gebaut werden?“ und der daran anschließenden Überlegung, wie das „Warum“ im festgelegten Rahmen umgesetzt werden kann.

Konkrete Werkzeuge zum Erfassen und Auswerten des „Warum“ also der VoS, werden weder in der DIN 18205 noch im LPDS gegeben. Zwar stoßen *Ballard und Zabelle* in ihrem Aufsatz zur Projektdefinitionsphase genau diesen Gedanken an, doch wurde dieser Bereich bisher nur wenig erforscht. Das folgende Kapitel liefert einen Überblick über Ermittlungstechniken, die zur Erarbeitung der VoS genutzt werden können.

### 3 Ermittlung der Voice of Stakeholder

Abschnitt 3 stellt einen Exkurs in die qualitative und quantitative Sozialforschung bzw. die Ideenentwicklung dar. Die Techniken zur Ermittlung der Ziele und Wünsche lassen sich in fünf Kategorien aufteilen. Befragungstechniken, Beobachtungstechniken, Kreativitätstechniken, artefaktbasierte Techniken sowie weitere Techniken. Davon werden zu jeder Kategorie einzelne prägnante Techniken vorgestellt.

#### 3.1 Befragungstechniken

Befragungstechniken fragen mündlich oder schriftlich nach den Wünschen, Zielen und Anforderungen der Stakeholder. Abhängig von der Methodenwahl sind die Techniken dabei mehr oder weniger stark strukturiert. Mit diesen Methoden wird hauptsächlich das bewusste Wissen, also die Leistungsfaktoren im Kano-Modell abgefragt. Der Erfolg dieser Methoden hängt stark vom technischen

Fachwissen der befragten Personen ab. Je höher das technische Fachwissen ist, umso konkreter können Wünsche formuliert werden [8]. Es kann zwischen quantitativen und qualitativen Befragungstechniken unterschieden werden [9]. Stellvertretend für quantitative Befragungstechniken wird der Fragebogen vorgestellt.

Fragebogen: Mithilfe eines standardisierten Fragebogens können nach einem hohen Initialaufwand viele Personen mit geringem Aufwand befragt werden. Ein standardisierter Fragebogen im Sinne dieses Aufsatzes ist ein durch die Befragten selbst zu administrierender Fragebogen. Die Befragung erfolgt internetgestützt oder schriftlich. Für die Anwendung als Erfassungsmethodik zur Ermittlung von Stakeholderanforderungen können beispielsweise in einem großen Bürokomplex alle Mitarbeiter nach ihren Präferenzen bezüglich der Büroausstattung oder Ähnlichem befragt werden. Durch die vorgegebenen Fragen ist sichergestellt, dass nur thematisch relevante Antworten gegeben werden. Durch die Anwendung von Skalen als Antwortmöglichkeit können beispielsweise Tendenzen in der Wichtigkeit einzelner Aspekte erkannt werden [10].

Im Folgenden werden das Interview, die Delphi-Befragung und die Gruppendiskussion als Vertreter für qualitative Befragungstechniken vorgestellt.

Interviews: Es lassen sich drei grundlegende Ausprägungen von Interviews benennen. Das standardisierte Interview folgt einer starken Strukturierung, die Fragen inklusive der Reihenfolge und die zugehörigen Antwortmöglichkeiten sind determiniert. Dieser Interviewtyp eignet sich beispielsweise für standardisierte Telefonumfragen. Teilstandardisierte Interviews bestehen aus einem Teil, der stark strukturiert ist und in der Regel Wissen und Fakten abfragt. Ein weiterer Teil enthält offene Fragen und erlaubt sowohl dem Interviewer als auch dem Befragten freie Gesprächsanteile. Das nicht standardisierte Interview folgt abhängig vom Konzept entweder einem vorgefertigten Leitfaden, an dem sich der Interviewer orientieren kann, oder es gibt nur ein Oberthema, mit welchem ein offenes Gespräch begonnen wird. Sowohl mit als auch ohne Leitfaden werden keine Fragen mit konkreten Antwortmöglichkeiten gestellt, sondern vielmehr eine Frage oder Aussage als Input zur Diskussion in das Gespräch gegeben [8]. Als gängige Form in der ingenieurwissenschaftlichen Forschung gilt das leitfadengestützte Experteninterview, weshalb dieses im Weiteren synonym für Interviews verwendet wird [11].

Gruppendiskussion: Die Gruppendiskussion, teilweise auch „Fokusgruppe“ oder „focus group“ genannt, ist eine Befragungsmethode, die es ermöglicht, in einer Gruppe von Teilnehmern tiefgehende Informationen und Einsichten zum diskutierten Thema zu gewinnen. Die Erhebung soll möglichst nah an ein alltägliches Gespräch angelehnt sein. Dabei geht es nicht nur um den Austausch von Argumenten wie in einer Diskussion, vielmehr geht es auch darum zu erzählen, sich innerhalb der Gruppe zu erinnern und zu ergänzen. In diesem Punkt liegt auch der deutliche

Unterschied zur Befragung mehrerer Personen. Die Gruppendiskussion ist nicht dazu da, um subjektive Einstellungen oder Erfahrung zu erfragen. Durch die Interaktion der Gruppe kann entweder eine Individualmeinung validiert werden oder der Diskurs kann zu einer Kollektivmeinung führen [12].

Delphi-Methode: Die Delphi-Methode zielt darauf ab, Expertenmeinungen zu einem konkreten Thema zu ermitteln. Dazu werden das Wissen und die Perspektiven von diversen Experten zu einem bestimmten Thema gesammelt und in einem iterativen Prozess konkretisiert. Es handelt sich also um einen stark strukturierten Gruppenkommunikationsprozess. Die Delphi-Methode wurde in den 1950er-Jahren entwickelt. Grundlage der Methodik ist die Annahme, dass Experten mithilfe von probabilistischen mentalen Modellen unvollständiges bzw. unsicheres Wissen festigen, rekonstruieren oder vorhersagen können [13].

### 3.2 Beobachtungstechniken

Als wissenschaftliche Beobachtung wird die Erfassung, Dokumentation und Interpretation von Verhaltensweisen, Ereignissen oder Merkmalen mithilfe von technischen Sensoren oder menschlicher Sinnesorgane verstanden. Die wissenschaftliche Beobachtung ist dabei regelgeleitet und systematisch. Auch wenn die Beobachtung maßgeblich durch die menschlichen Sinnesorgane durchgeführt wird, werden diese dennoch durch einige einfache technische Geräte, wie beispielsweise eine Stoppuhr, unterstützt. Die Forschenden nehmen bei der Beobachtung eine Art Außenperspektive ein. Sie stellt also das Gegenteil der Befragung dar, in welcher der Zugang zur Innenwelt der Teilnehmenden gesucht wird. *Döring* fasst fünf Gründe zusammen, warum diese objektive Draufsicht ein wichtiger Bestandteil einer umfassenden Untersuchung ist. Zunächst ist die Befragung personengebunden, die Güte und Genauigkeit dieser geht also mit der Verbalisierungsfähigkeit der Teilnehmer einher. Ist diese nicht oder nur bedingt gegeben, leidet die Datenqualität. Auch wenn eine ausreichende Verbalisierungsfähigkeit vorhanden ist, kann aus unterschiedlichsten Gründen die Auskunftswilligkeit beschränkt sein. Ferner ist aus dem Kano-Modell bekannt, dass Grundleistungen von Kunden vorausgesetzt werden, in Beobachtungen können unbewusste Verhaltensweisen erkannt werden, die in einer Befragung gegebenenfalls nicht erwähnt worden wären. Eine Beobachtung kann non-reaktiv ablaufen, also versteckt, sodass nicht in die natürlichen Abläufe eingegriffen wird. Zuletzt kann das Verhalten im Zeitverlauf beobachtet werden, eine Befragung stellt im Gegensatz dazu immer nur die Abbildung der zusammenfassend punktuellen Aussagen dar. Die Beobachtung hat im Vergleich mit der Befragung natürlich auch Nachteile. Zunächst ist die Beobachtung in der Regel deutlich zeit- und kostenintensiver als eine Befragung. Ferner sind subjektive Erlebnishänomene der

Probanden in einer Beobachtung nur bedingt oder gar nicht wahrnehmbar [14].

Einzelaufnahme: Die Einzelaufnahme oder auch Dauerbeobachtung genannt, beschreibt eine qualitative Beobachtungsform. Über einen festgelegten Zeitpunkt werden Tätigkeiten und der Einsatz von Arbeitsmitteln einer Person beobachtet. Erweiterbar ist diese Beobachtungsform durch das Vermerken von Geschehnissen im räumlichen Umfeld oder den Arbeitsbedingungen [15].

Multimomentaufnahme: Die Multimomentaufnahme ist ein Stichprobenverfahren, in welchem eine Vielzahl von Augenblicksbeobachtungen genutzt wird, um daraus statistisch gesicherte Angaben generieren zu können. Eine klassische Multimomentaufnahme ist nur gültig, wenn die Stichproben zu zufälligen Zeitpunkten genommen werden und es sich beim Untersuchungsgegenstand um unregelmäßig ablaufende Arbeiten handelt [15].

### 3.3 Kreativitätstechniken

Mithilfe von unterschiedlichen Kreativitätstechniken lässt sich der Prozess der Problemanalyse und die Findung von Lösungsansätzen unterstützen. Methoden zur Ideenfindung bzw. Kreativitätstechniken lassen sich in vier Kategorien einteilen. Im Weiteren sollen diese Kategorien kurz vorgestellt werden. Im Bezug auf die Anwendung bei der Anforderungsermittlung für Bauprojekte werden einige ausgewählte Techniken vertieft betrachtet.

Methoden der systematischen Problemspezifizierung: Bevor eine geeignete Lösung für ein Problem gefunden werden kann, muss das Problem umfassend verstanden worden sein. Mithilfe von Techniken aus dem Bereich der systematischen Problemspezifizierung können komplexe Probleme möglichst umfangreich be- und durchleuchtet werden. Das Wissen über Details des Problems sowie die Transparenz von Problemstrukturen erleichtert die fokussierte Erarbeitung von Problemlösungen und deren Durchführung. Zu den Methoden der systematischen Problemspezifizierung zählen unter anderem die Mind-Map-Methode, die progressive Abstraktion, die Hypothesenmatrix und der Relevanzbaum [16].

Mind-Map: Als visuelle Darstellungstechnik ermöglichen Mind-Maps sowohl strukturiert als auch kreativ, Informationen zu organisieren. Dabei dient die Mind-Map als Werkzeug zur Visualisierung von Zusammenhängen, die das kreative Denken anregen [17].

Hypothesenmatrix: Die Hypothesenmatrix dient ebenso wie die Mind-Map weniger zur Generierung von Ideen und Lösungen, sondern vielmehr zur analytischen Durchdringung von komplexen Sachverhalten. Dabei eignet sich die Hypothesenmatrix besonders gut für die Analyse von vorhandenen Verflechtungen und dem Aufdecken von Verknüpfungen oder Beziehungen bzw. Wechselwirkungen [16].

Relevanzbaum: Der Relevanzbaum eignet sich gut, um komplexe Zusammenhänge oder Probleme zu strukturieren und aufzuschlüsseln. Insofern gilt auch für den

Relevanzbaum, dass er weniger für die konkrete Ideenfindung genutzt wird, sondern zur analytische Vorarbeit [18]. Intuitiv-kreative Methoden zur Ideenfindung: Diese auch als Kreativitätstechniken im engeren Sinne bezeichneten Methoden wurden speziell dazu entwickelt, kreative Denkansätze in den Problementwicklungsprozess mit einzubeziehen. Dies soll durch die Vermeidung von konformen Denken helfen Denkblockaden zu überwinden. Alle Techniken dieser Kategorie folgen den Prinzipien der Assoziation, der Analogie- und Vergleichsbildung sowie der Übertragung. Folgende Methoden zählen als intuitiv-kreativ: Brainstorming-Methoden, Brainwriting-Methoden, Synektik und Synektik-ähnliche Methoden sowie die Osborn-Checkliste [16].

Brainstorming: Brainstorming kann als eine der Grundmethoden der Ideen- und Problemlösungsfindung bezeichnet werden. Der Erfolg der bekannten Technik lässt sich auf folgendes Kernkonzept zurückführen. Durch das Einbinden von mehreren gleichberechtigten Personen in einen Problemlösungsprozess, in dem unnötige Diskussionen vermieden und denkpsychologische Blockaden überwunden werden, kann auf einen großen Schatz aus intuitivem Wissen zurückgegriffen werden [16]. Dazu gibt es einige Grundregeln, die beim Brainstorming unbedingt berücksichtigt werden müssen. Zunächst ist im Brainstormingprozess Kritik zu unterbinden. Auch abwegig und unpassend erscheinende Einfälle sollen geäußert werden. Alle Assoziationen, die das Thema hervorruft, sollen genannt werden. Dabei ist die Menge der Aussagen von größerer Bedeutung als die Qualität der einzelnen Ideen, es geht darum, möglichst viele Daten zu sammeln. Dabei können Ideen und Aussagen auch von anderen Teilnehmern aufgegriffen und weiterentwickelt werden [19].

Brainwriting: Als Abwandlung des Brainstorming bildet das Brainwriting eine eigene Kategorie als intuitiv-kreative Methode zur Ideengenerierung. Beim Brainwriting geht es um die Niederschrift von möglichst vielen Ideen, dabei gelten dieselben Grundregeln wie schon beim Brainstorming. Brainwriting kann alleine oder in Gruppen durchgeführt werden. Brainwriting stellt einen Sammelbegriff für verschiedene, sich ähnelnde Techniken wie Brainwriting-Pool, die Galeriemethode, die Kartenabfrage oder die Methode 635 dar. Exemplarisch wird die Methode 635 vorgestellt, die zu einer der bekanntesten Techniken des Brainwriting zählt. Bei dieser schreiben sechs (6) Personen innerhalb von fünf (5) Minuten drei (3) Ideen oder Problemlösungsansätze jeweils auf ein Stück Papier. Nach dem ersten Durchlauf wird das beschriebene Papier weitergereicht und der Prozess beginnt von vorn. Ab dem zweiten Durchgang haben die Teilnehmer die Möglichkeit, mit den vorgenannten Ansätzen und Aussagen zu interagieren, diese weiterzuentwickeln, zu ergänzen oder zu kommentieren. Der Brainwriting Prozess endet, wenn jeder Teilnehmer jedes Papier beschrieben hat [19].

Osborn-Checkliste: Die Osborn-Checkliste als eigenständige Kreativitätstechnik wurde von Alex F. Osborn als

Weiterführung zum Brainstorming entwickelt. Mithilfe der Osborn-Checkliste soll das Umfeld des betrachteten Problems erweitert werden, um mehr Problembewusstsein herzustellen. Der dadurch erhöhte Detaillierungsgrad soll zu besseren Lösungsansätzen führen. Der Osborn-Checkliste wird besonders in der Produkt- und Verfahrensentwicklung bzw. Weiterentwicklung eine gute Anwendbarkeit zugeschrieben, da mithilfe eines Fragenkatalogs systematisch das Problem untersucht und so gezielt das kreative Denken angestoßen wird [19].

Systematisch-analytische Methoden für die Generierung von Ideen: Mithilfe von Techniken aus dieser Kategorie wird das Gesamtproblem konsequent in Teilprobleme zerlegt bis lösbar Teilprobleme erzeugt werden. Die Kombination der Teillösungen erzeugt dann eine Gesamtlösung für das Problem. Techniken aus dieser Kategorie sind die morphologische Analyse (Ideenfindung), die sequentielle Morphologie, der Problemlösungsbaum oder das Attribute-Listing [20].

Morphologische Ideenfindung: Die morphologische Ideenfindung oder morphologische Analyse arbeitet mit dem sogenannten morphologischen Kasten, der teilweise auch als morphologische Matrix bezeichnet wird. Bei der Anwendung der morphologischen Analyse wird das betrachtete Gesamtproblem in mehrere Teilprobleme zerlegt. Die Methode geht dann davon aus, dass jedes Teilproblem verschiedene Ausprägungen besitzen kann. Durch die Lösung der Einzelprobleme, also die Wahl einer Ausprägung, soll auch das Gesamtproblem lösbar gemacht werden [21].

Methoden zur Beurteilung von Ideen: Nach der Problemanalyse und der Lösungsfindung gilt es die erarbeiteten Daten kritisch zu prüfen. Dazu eignen sich neben dem negativen Brainstorming auch die DeBono-Hüte und die Walt-Disney-Methode aus dem Bereich der Kreativitätstechniken. Ferner eignet sich hier auch die Anwendung der Nutzwertanalyse oder einer Balanced Scorecard [20].

DeBono-Hüte: Die von DeBono entwickelte Methode, auch Hutwechsel-Methode genannt, unterscheidet in sechs symbolische Hüte des Denkens. Die Farbe der Hüte steht dabei für eine bestimmte Richtung, aus der das Problem betrachtet wird. Ähnlich wie bei der Walt-Disney-Methode sollen auf diese Weise Denkblockaden und eingefahrene Denkstrukturen abgebaut werden und eine möglichst umfassende Auseinandersetzung mit der Thematik möglich gemacht werden [22].

### 3.4 Artefaktbasierte Techniken

Wissen und Informationen müssen nicht aus dem „Nichts“ kreiert werden. Auch wenn gerade im Bauwesen jedes Projekt ein Unikat darstellt, gibt es zwischen den einzelnen Projekten viele Überschneidungen. Von den Erkenntnissen und Erfahrungen (Lessons Learned) aber auch aus den angewendeten Workflows (Best Practice) anderer Projekte kann das aktuelle Projekt profitieren. Artefaktbasierte Techniken wollen genau dieses Erfahrungswissen

aus anderen Projekten nutzbar machen, um auf den gemachten Erfahrungen und Erkenntnissen aufbauen zu können [23].

**Systemarchäologie:** Der Begriff Systemarchäologie ist vielmehr ein Sammelbegriff für verschiedene Ermittlungstechniken und Methoden, die dazu verwendet werden, alte Systeme bzw. Projekte so zu durchsuchen, dass verwertbare Artefakte gefunden werden, welche die Funktionalität des Systems beschreiben. Die Analyse von Projekten und Systemen auf Grundlage des Artefaktgedankens ermöglicht die Abbildung der gesamten Funktionalität. Allgemein steht der Begriff „Artefakt“ für etwas, das von Menschenhand geschaffen wurde. Auf das Projektmanagement bezogen wären dies Dokumente, wie zum Beispiel Pläne und Verträge. Aber auch Arbeitsergebnisse wie Skizzen, Konzepte und Entwürfe zählen als Artefakt [23].

**Reuse:** Die Reuse-Technik ist im Gegensatz zur Systemarchäologie eine Technik, in der die konkreten Anforderungen aus alten Projekten herangezogen werden, um diese im betrachteten Projekt zu verwenden. Die Technik ist also eher eine Wiederverwendungstechnik und keine klassische Ermittlungstechnik und basiert darauf, langfristig ein Wiederverwendungsmanagement im Unternehmen zu pflegen. Die Technik zielt darauf ab, möglichst viel aus alten Projekten mitzunehmen, um so den Fokus auf die konkreten Verbesserungen von Details im Projekt legen zu können [23].

### 3.5 Weitere Techniken

Unter dem Oberbegriff weitere Techniken werden weitere Methoden gesammelt, die dazu beitragen, Projekte zu analysieren, um daraus Anforderungen abzuleiten. Die hier genannten Techniken lassen sich nicht zweifelsfrei den anderen Kategorien zuordnen.

**Ablaufanalyse:** Unter der Ablaufanalyse wird die Untersuchung von Arbeitsabläufen hinsichtlich der eingesetzten Produktionsmittel verstanden. Der Gesamtprozess wird dabei in logische Teilprozesse unterteilt, welche dann genauer betrachtet werden. Ergebnis ist die Abbildung des ablaufenden Gesamtprozesses in Teilprozessen. Mithilfe dieser Darstellung können dann Mängel erkannt und der Prozess optimiert werden [24]. Im Unterschied zur Einzelaufnahme, die den durchgeführten Ist-Zustand dokumentiert, wird in der Ablaufanalyse der zugrunde liegende Prozess auf theoretischer Ebene aufgenommen und untersucht.

**Workshop:** In einem Workshop erarbeiten die Teilnehmer selbst Lösungen für ihre Probleme. Beispielsweise können Stakeholder selbst die Anforderungen an das Projekt erarbeiten. Der Workshop stellt keine eigene Technik dar, sondern setzt sich im Sinne der Mixed-Method-Methode aus einer frei wählbaren Zusammensetzung von Ermittlungstechniken zusammen. Dadurch werden die Teilnehmer nicht nur nach ihrer Meinung gefragt, sondern die Ergebnisse sind Teil eines angeleiteten kreativen Prozesses, der frei gestaltbar ist [25].

## 4 Untersuchung der Ermittlungstechniken im Bezug auf die Anforderungsermittlung im Bauwesen

Für die Untersuchung der einzelnen Ermittlungstechniken im Hinblick auf die Anforderungsermittlung im Bauwesen wurden zunächst verschiedene Bewertungskriterien entwickelt, welche dann bewertet wurden. Da es sich um unterschiedliche Bewertungskriterien handelt und so eine einheitliche Skalierung der Bewertung nicht möglich ist, erhält jedes Kriterium individuelle Bewertungsoptionen. Um eine Bewertung zu ermöglichen, wurden die Methoden möglichst abstrakt betrachtet. Viele der dargestellten Techniken leben davon, dass sie situativ und auf den Einzelfall bezogen innerhalb von Rahmenbedingungen angepasst werden können. Die Betrachtung bezieht sich also auf genau diese Rahmenbedingungen. Die verwendeten Bewertungskriterien lassen sich in drei Kategorien zusammenfassen. Die erste Kategorie umfasst Kriterien zum Aufwand, der mit der Durchführung der Techniken einhergeht. Die zweite Kategorie enthält Kriterien zur Genauigkeit der Methodik. Zuletzt wird untersucht, inwieweit die Techniken dazu geeignet sind die einzelnen Anforderungsmerkmale zu ergründen. Diese letzte Kategorie bezieht sich auf das Kano-Modell der Kundenanforderungen. *Noritaki Kano* unterscheidet in diesem Modell zwischen drei verschiedenen Anforderungen, die Kunden an Produkte haben. Grundanforderungen stellen in der Regel nicht explizit genannte Erwartungen dar, die entsprechend implizit vom Kunden vorausgesetzt werden. Das Erfüllen dieser Anforderungen deckt den minimalen Anspruch der Kunden, ihr Fehlen löst Unzufriedenheit aus. Leistungsanforderungen sind dem Kunden bewusste Anforderungen an das Produkt oder die Dienstleistung, die auch in Befragungen explizit erwähnt werden. Mit der Erfüllung dieser Anforderungen kann die Kundenzufriedenheit deutlich gesteigert werden. Begeisterungsfaktoren wiederum sind unbewusste Anforderungen, die nie explizit ausgesprochen werden, aber in Aussagen mitschwingen können. Das Fehlen von Begeisterungsmerkmalen hat keinen Einfluss auf die Bewertung des Produktes oder der Dienstleistung. Bei Erfüllung dieser Anforderungen wird allerdings Begeisterung ausgelöst. Dementsprechend liegt in diesem Anforderungsbereich das Potenzial für überdurchschnittliche Kundenzufriedenheit. Für die Anwendung auf das untersuchte Thema wird die Kundenzufriedenheit in die Nutzerzufriedenheit übertragen [26].



	Bewertungssymbol			
	▼	•	▲	
Bewertungskriterium	Benötigte Personen zur Durchführung	1 Pers.	2 - 5 Pers.	> 5 Pers.
	Benötigte Teilnehmermenge	<= 5 Pers.	5 - 20 Pers.	> 20 Pers.
	Materieller Aufwand	Stift,Papier	Stift,Papier,Computer,Handy	Stift,Papier,Computer,Handy, Videoaufzeichnung
	Zeitlicher Aufwand (Vorbereitung)	< 1h	1h bis 10h	> 10h
	Zeitlicher Aufwand (Durchführung)	< 30 Min.	30 Min. bis 2h	> 2h
	Zeitlicher Aufwand (Auswertung)	< 1h	1h bis 10h	> 10h
	Qualifikationsgrad	Keine	Durchführungserfahrung	viel Durchführungserfahrung, Weiterbildung
	Detaillierungsgrad	oberflächliche Abfrage	teilweise Detaillierte Abfrage	sehr detaillierte Abfrage
	Grad der Eindeutigkeit	kein Interpretationsspielraum	etwas Interpretationsspielraum	hoher Interpretationsspielraum
	Formalisierungsgrad	gering	mäßig	hoch
	Abfrage von Grundanforderungen	Nein	indirekt	direkt
	Abfrage von Leistungsanforderungen	Nein	indirekt	direkt
Abfrage von Begeisterungsanforderungen	Nein	indirekt	direkt	

Abbildung 2 Bewertungsskala

Abb. 2 stellt die einzelnen Bewertungskriterien vor, mit deren Hilfe die Ermittlungstechniken in der in Abb. 3 dargestellten Matrix bewertet werden. Der Fokus der Auswertung der Bewertungsmatrix soll auf der Abfrage der Anforderungen liegen.

		Bewertungskriterien													
		Benötigte Personen zur Durchführung	Benötigte Teilnehmermenge	Materieller Aufwand	Zeitlicher Aufwand (Vorbereitung)	Zeitlicher Aufwand (Durchführung)	Zeitlicher Aufwand (Auswertung)	Qualifikationsgrad	Detaillierungsgrad	Grad der Eindeutigkeit	Formalisierungsgrad	Abfrage von Grundanforderungen	Abfrage von Leistungsanforderungen	Abfrage von Begeisterungsanforderungen	
Ermittlungstechniken	Befragungstechniken	Fragebogen	▼	▲	•	▲	▼	▲	•	▲	•	▲	▲	▲	▲
		Interviews	▼	▼	•	▲	▼	▲	•	▲	•	▲	▲	▲	▲
		Delphi-Methode	•	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
		Gruppendiskussion	•	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
		Mind-Map	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
	Kreativitätstechniken	Hypothesenmatrix	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
		Relevanzbaum	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
		Brainstorming	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
		Brainwriting	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
		Osborn-Checkliste	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
	Beobachtungen	Morphologische Identifizierung	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
		DeBono-Hüte	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
		Einzelaufnahme	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
		Multimomentaufnahme	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
		Multimomentaufnahme	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Anfaktbasierte Techniken	Systemarchäologie	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	
	Reiss	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	
	Unterstützende Techniken	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	
	Ablaufanalyse	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	
	Workshop	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	

Abbildung 3 Bewertungsmatrix

Der Einsatz von Interviews und Fragebögen ist besonders gut für die Ermittlung von Anforderungen aller Kategorien geeignet. Ferner kann auch mit dem Workshop jede Anforderungskategorie des Kano-Modells abgefragt werden. Dieser stellt jedoch eine besondere Ermittlungstechnik dar, auf die im weiteren Verlauf der Auswertung noch eingegangen wird. Sowohl bei einem Fragebogen als auch bei einem Interview kann, durch eine gute Auswahl und Zusammensetzung des Fragenkataloges, zielgerichtet nach Anforderungen gefragt werden. Dabei können durch geschickte Frageformulierungen und -platzierungen, neben Leistungs-, auch Grund- und Begeisterungsfaktoren ermittelt werden. Weitere Befragungstechniken eignen sich nur bedingt für die Anforderungsermittlungen im Bauwesen.

Bei den Kreativitätstechniken liegt, unabhängig davon, ob die Stakeholder selbst, die Stakeholder mit den Durchführenden zusammen oder die Durchführenden im Sinne der Stakeholder die Technik durchführen, eine ähnliche Problematik vor. Generell kritisch ist die Durchführung im Sinne und anstelle der Stakeholder, da auf diese Weise das Stakeholderwissen nur impliziert werden kann und wichtige Elementen unbeachtet bleiben könnten. Die anderen

beiden Durchführungsformen bilden im Prinzip genau die Problematik der einzelnen Anforderungsarten ab. Während das Basiswissen oft ungenannt bleibt, da es als selbstverständlich vorausgesetzt wird, werden Begeisterungsanforderungen nicht konkret ausgesprochen. Ausnahme dazu bilden systematisch vorgehende Kreativitätstechniken, da diese durch die Gestaltung des Prozesses eine Auseinandersetzung mit vielen Faktoren voraussetzen. Auf diese Weise können auch Basisanforderungen ermittelt werden. Die Ermittlung von Begeisterungsanforderungen ist eher unwahrscheinlich, da diese nur sehr selten einfach genannt werden. Allerdings kann in der Nachbearbeitung gezielt nach indirekt genannten Faktoren gesucht werden. Mithilfe von Beobachtungen oder artefaktbasierten Techniken können Basisfaktoren gut untersucht werden. Weitere Anforderungsarten können dabei nur indirekt abgeleitet und Impliziert werden.

Der Workshop stellt im Prinzip keine eigene Ermittlungstechnik dar, vielmehr ist er ein Konglomerat von Ermittlungstechniken, dessen Zusammensetzung je nach Bedarf angepasst werden kann, was sich in der Bewertung widerspiegelt. Zwar ist für die Vorbereitung, Durchführung und die Auswertung des Workshops viel Zeit einzuplanen, dafür können alle Anforderungskategorien ermittelt werden, sofern die richtigen Ermittlungstechniken ausgewählt werden. Der Workshop verinnerlicht das Mixed-Method-Konzept, welches die Verknüpfung diverser qualitativer und quantitativer Forschungstechniken in aufeinander bezogenen Arbeitsschritten bezeichnet [27].

Die herausgearbeiteten Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt. Techniken die sich für den eigenständigen Einsatz als Werkzeug zur Anforderungsermittlung im Bauwesen eignen sind mit einem Häkchen bewertet. Dazu gehören neben dem Fragebogen und dem Interview auch der Workshop als Mixed-Method-Ansatz. Techniken, die sich unter den oben beschriebenen Bedingungen für den Einsatz in einer solchen Mixed-Method-Lösung eignen, sind mit dem Puzzel markiert. Die Delphi-Methode, die sich durch ihren enorm großen Umfang nicht eignet, ist mit einem Kreuz markiert. Die Untersuchung zeigt, dass es nicht „die eine“ Ermittlungstechnik gibt, die sich zur Ermittlung von Stakeholderanforderungen im Bauwesen eignet. Unterschiedliche Techniken weisen unterschiedliche Stärken und Schwächen auf, die es in der Nutzung abzuwägen gilt. Die Wahl hängt davon ab, was für ein Projekt mit welcher Tiefe und wie vielen Beteiligten bearbeitet wird. Eine Kombination von unterschiedlichen Techniken ist dabei, wie der Workshop zeigt, sehr empfehlenswert. Durch die individuelle Zusammensetzbarkeit können mithilfe von Kreativitätstechniken, Beobachtungen und artefaktbasierten Techniken erst die Basis- und Leistungsanforderungen gemeinsam mit den Stakeholdern ermittelt werden. Auf Grundlage dieser Daten kann dann beispielsweise ein Leitfaden für Experteninterviews oder ein Fragebogen entwickelt werden, der zielgerichtet nach Begeisterungsfaktoren sucht.

			Verwendbarkeit
Ermittlungstechniken	Befragungs-techniken	Fragebogen	✓
		Interviews	✓
		Delphi-Methode	✗
		Gruppendiskussion	🧩
	Kreativitäts-techniken	Mind-Map	🧩
		Hypothesenmatrix	🧩
		Relevanzbaum	🧩
		Brainstorming	🧩
		Brainwirting	🧩
		Osborn-Checkliste	🧩
		Morphologische Ideenfindung	🧩
	Beobachtungen	DeBono-Hüte	🧩
		Einzelaufnahme	🧩
	Multimomentaufnahme	Einzelaufnahme	🧩
		Multimomentaufnahme	🧩
	Artefaktbasierte Techniken	Systemarchäologie	🧩
		Reuse	🧩
Unterstützende Techniken	Ablaufanalyse	🧩	
	Workshop	✓	

**Abbildung 4** Verwendbarkeit der Techniken für die Ermittlung von Nutzeranforderungen an Bauwerke

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

### 5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die konkrete und detaillierte Ermittlung von Stakeholderanforderungen als Bedarf an ein Bauprojekt ist essenziell, um die Beweggründe für dieses zu verstehen. Mithilfe der Antworten auf die Frage „Warum soll gebaut werden?“ können Projektentwickler, Architekten und Ingenieure eine den Anforderungen gerecht werdende technische Lösung entwickeln.

In diesem Aufsatz wurden verschiedene Ermittlungstechniken vorgestellt und in Hinblick auf die Bedarfsplanung beziehungsweise Ihre Anwendung zur Ermittlung des Bedarfs in Form von Nutzeranforderungen an Bauprojekte untersucht.

Die Befragungstechniken Fragebögen und Experteninterviews eignen sich gut, um die Anforderungen von Stakeholdern zu ermitteln. Dies setzt allerdings voraus, dass die richtigen Fragen gestellt werden und die erhaltenen Antworten im Sinne der Befragten interpretiert werden. Nachteil beider Methoden ist, dass die Stakeholder nicht in den Erstellungs- und Auswertungsprozess mit einbezogen werden. Durch die Anwendung des Mixed-Method-Ansatzes wird sich nicht auf eine Ermittlungstechnik beschränkt, sondern mit einer beliebigen Anzahl und Zusammensetzung von Ermittlungstechniken in Kooperation mit den Stakeholdern der Bedarf ermittelt. Der Workshop stellt eine solche Ermittlungstechnik im Sinne des Mixed-

Method-Ansatzes dar. Bei der Gestaltung können abhängig von den Rahmenbedingungen, wie beispielsweise der Gruppengröße, dem zeitlichen Rahmen und den Ermittlungszielen, unterschiedliche der vorgestellten oder weitere Ermittlungstechniken verwendet werden, um die Erfolgchancen zu erhöhen.

Durch die Kooperation mit den Stakeholdern bei der Entwicklung der Anforderungen, anstelle der Entwicklung der Anforderungen für die Stakeholder, kann eine Planung entworfen werden, die den Anforderungen gerecht wird. Die Variation in der Fragestellung von „was?“ zu „warum?“ ermöglicht den Planenden einen funktionalen Umgang, um die Anforderungen durch konkreten technischen Lösungen zu erfüllen, ohne schon im vorhinein durch ungenaue Vorgaben eingeschränkt zu werden.

### 5.2 Ausblick für die weitere Forschung

In den frühen Projektphasen kann mit geringen monetären Aufwendungen der weitere Lebenszyklus eines Bauprojektes erheblich beeinflusst werden. Die Umsetzung der Nutzer- bzw. Stakeholderanforderungen kann maßgeblich dazu beitragen, dass ein Projekt nach der Herstellungsphase bzw. in der Nutzungsphase als erfolgreich bezeichnet wird. Der vorliegende Aufsatz zeigt Möglichkeiten zur Ermittlung der VoS auf und empfiehlt den Einsatz des Mixed-Method-Ansatzes für die projektabhängige individuelle Zusammenstellung eines geeigneten Satzes an Ermittlungstechniken.

Daraus ergibt sich die Frage, wie im weiteren Projekttablauf diese VoS für die Planung nutzbar gemacht werden kann. Einen Ansatz liefert die aus der Produktentwicklung stammende Quality-Function-Deployment-Methodik (QFD). Mithilfe einer Matrixform werden dabei die Wünsche und Anforderungen der Kunden in konkrete Merkmale übersetzt. QFD ist im Bauwesen bisher nur sehr vereinzelt angewendet worden. Im Sinne des dem Lean Construction Managements inhärenten Kundenfokus ist eine Übertragung der Methodik aus der Produktentwicklung auf die Besonderheiten des Bauwesens eine Möglichkeit die VoS in konkrete Merkmale zu übersetzen, welche dann von den Planenden als Rahmenbedingungen für die technische Planung dienen.

## 6 Literatur

- [1] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 18205. Bedarfsplanung im Bauwesen 91.020 (2016) 18205:2016-11. Berlin.
- [2] Ballard, G.: The Lean Project Delivery System: An Update. In: Lean Construction Journal 2008 (2008), S. 1–9.
- [3] Hodulak, M.; Schramm, U.: Nutzerorientierte Bedarfsplanung. Prozessqualität für nachhaltige Gebäude, 2. Aufl. 2019. Berlin, Heidelberg 2019.

- [4] Racky, P.; Simon, N.: Ansätze zur Entwicklung »schlanker« Projektabwicklungsmodelle für den deutschen Baumarkt. In: Langen; Leupertz; Preuß; von Rintelen (Hrsg.): Bauprojekte als interdisziplinäre Herausforderung. Festschrift für Klaus Eschenbruch zum 65. Geburtstag. Köln 2019.
- [5] Ballard, G.; Zabelle, T.: Project Definition. In: LCI White Paper (2000) 9.
- [6] Ballard, G.: Lean Project Delivery System. In: LCI White Paper (2000) 8.
- [7] Serpell, A.; Wagner, R.: Application of Quality Function Deployment (QFD) to the determination of the design characteristics of building apartemnts. In: Alarcón, L. (Hrsg.): Lean construction. Rotterdam 1997.
- [8] Sophist: Requirements-Engineering. Die kleine RE-Fibel, 3. Auflage. Nürnberg 2016.
- [9] Raithel, J.: Quantitative Forschung. Ein Praxiskurs, 2., durchgesehene Aufl. Wiesbaden 2008.
- [10] Reinecke, J.: Grundlagen der standardisierten Befragung. In: Baur, N.; Blasius, J. (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden 2022.
- [11] Simon, N.: Die qualitative Inhaltsanalyse als Bestandteil ingenieurwissenschaftlicher Forschungsansätze. In: Haghsheno, S.; Lennerts, K.; Gentes, S. (Hrsg.): 30. BBB-Assistententreffen in Karlsruhe - Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter Bauwirtschaft | Baubetrieb | Bauverfahrenstechnik : 10. - 12. Juli 2019, Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), KIT. Karlsruhe, 2019.
- [12] Vogl, S.: Gruppendiskussion. In: Baur, N.; Blasius, J. (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden 2022.
- [13] Häder, M.; Häder, S.: Delphi-Befragung. In: Baur, N.; Blasius, J. (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden 2022.
- [14] Döring, N.: Datenerhebung. In: Döring, N. (Hrsg.): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, Heidelberg 2023.
- [15] Künstner, G.: REFA in der Baupraxis, 2. Aufl. Frankfurt/Main 1984 [erschienen] 1986.
- [16] Schlicksupp, H.: Innovation, Kreativität und Ideenfindung, 4., überarb. und erw. Aufl. Würzburg 1992.
- [17] Schawel, C.; Billing, F.: Mind Mapping. In: Schawel, C.; Billing, F. (Hrsg.): Top 100 Management Tools. Wiesbaden 2018.
- [18] Drews, G.; Hillebrand, N.: Lexikon der Projektmanagement-Methoden, 1. Auflage. Freiburg 2007.
- [19] Rabl, M.: Kreativitätstechniken. In: Gaubinger, K.; Rabl, M.; Werani, T. (Hrsg.): Praxisorientiertes Innovations- und Produktmanagement. Grundlagen und Fallstudien aus B-to-B-Märkten. Wiesbaden 2009.
- [20] Traut-Mattausch, E.; Kerschreiter, R.: Kreativitätstechniken. In: Wastian, M.; Braumandl, I.; Rosenstiel, L. von (Hrsg.): Angewandte Psychologie für das Projektmanagement. Berlin, Heidelberg 2012.
- [21] Zwicky, F.: Morphologische Forschung. Wesen und Wandel materieller und geistiger struktureller Zusammenhänge, 2. Aufl. Glarus 1989.
- [22] Freitag, E.: Kreativitätstechniken. So finden Sie das richtige Werkzeug für Ihr Problem. Tübingen 2020.
- [23] Rupp, C.; SOPHISTen: Requirements-Engineering und -Management. Das Handbuch für Anforderungen in jeder Situation. 2014
- [24] Künstner, G.: Arbeitsgestaltung im Baubetrieb. Lehrunterlage für den Teil „Arbeitsgestaltung“ des Kurses G3 der baubezogenen REFA-Grundausbildung o.D.
- [25] Pohl, K.: Requirements Engineering. Grundlagen, Prinzipien, Techniken, 2., korrigierte Aufl. Heidelberg 2008.
- [26] Klein, B.: QFD - Quality function deployment. Konzept, Anwendung und Umsetzung für Produkte und Dienstleistungen ; mit 6 Tabellen. Renningen-Malmsheim, Wien 1999.
- [27] Schreier, M.; Odağ, Ö.: Mixed Methods. In: Mey, G.; Mruck, K. (Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. Wiesbaden 2020.

# Handhabbarkeit dünnwandiger Bauteile aus Carbonbeton

## Manageability of thin-walled components made of carbon concrete

Veit Klopfer, Technische Universität Dresden, Institut für Baubetriebswesen, Nürnberger Str. 31A, 01187 Dresden, veit.klopfer@tu-dresden.de

Romy Wiel, Technische Universität Dresden, Institut für Baubetriebswesen, Nürnberger Str. 31A, 01187 Dresden, romy.wiel@tu-dresden.de

### Kurzfassung

Das Bauen mit Carbonbeton erfolgt im Kontext der Forschung bereits seit über 30 Jahren. Eine weitreichende Verbreitung des Carbonbetons über Pilotprojekte hinaus, ist bisher nicht zu verzeichnen. Eine Standardisierung und die Erarbeitung von allgemein anwendbaren Leitfäden scheint dabei ein unumgänglicher Meilenstein auf dem Weg zur Marktdurchdringung zu sein. Die Möglichkeit der Herstellung dünnwandiger carbonfaserbewehrter Betonbauteile wirft neue Fragestellungen hinsichtlich allgemeingültiger Handlungsempfehlungen, der Handhabbarkeit des Materials und im Umgang mit dem Arbeits- und Gesundheitsschutz auf. Das Forschungsprojekt RUBIN-ISC beschäftigt sich anhand eines umfangreichen Versuchskonzeptes unter anderem mit diesen Fragestellungen.

### Abstract

Construction with carbon concrete has been taking place in the context of research for more than 30 years. A widespread dissemination of carbon concrete beyond pilot projects has not yet been recorded. Standardization and the development of generally applicable guidelines seem to be an indispensable milestone on the way to market penetration. The possibility of manufacturing thin-walled carbon fiber-reinforced concrete components raises new questions with regard to generally applicable recommendations for action, the manageability of the material and the handling of occupational health and safety. The research project RUBIN-ISC deals with these questions, among others, by means of a comprehensive test concept.

## 1 Einleitung

Das Bauen mit Carbonbeton hat zum Ziel einen nachhaltigen und ressourcenschonenden Umgang im Betonbau umzusetzen. Die Carbonbetonbauweise kann eine Alternative zum Stahlbeton sein, da diese deutlich materialsparender ist. Die Stahlbewehrung wird durch Carbon substituiert, was zu einer geringeren Betondeckung führt, da die Carbonbewehrung nicht korrodieren kann und somit keine Passivierungsschicht notwendig ist. Die Folge ist eine Reduktion der Betonmenge um bis zu 50 %. [1] Zusätzlich ist die Dauerhaftigkeit von Carbonbetonbauteilen deutlich erhöht, sodass die höhere Lebensdauer ebenfalls zu einer erhöhten Nachhaltigkeit des Carbonbetons führt. Die Materialreduktion durch den Wegfall der erforderlichen Mindestbetondeckung führt zu der Möglichkeit sehr schlanke Bauteile aus Carbonbeton herzustellen. Das Bauen mit dünnwandigen Bauteilen aus Carbonbeton bedingt jedoch auch einen besonderen Umgang, z. B. hinsichtlich der nachträglichen Bearbeitungen mit gängigen Werkzeugen und dem resultierenden Sicherheits- und Gesundheitsschutz (Staub- und Faserentwicklung) oder der Integration von TGA bei dünnen Wandbauteilen. Im Rahmen dieses Artikels sollen ausgewählte Fragestellungen

rund um die Handhabbarkeit dünner Carbonbetonbauteile vorgestellt und die Herangehensweise bei der Beantwortung beschrieben werden.

## 2 Forschungsgegenstand

### 2.1 Aktueller Stand Carbonbeton - RUBIN-ISC

In den vergangenen 30 Jahren wurde insbesondere an den Standorten der TU Dresden und der RWTH Aachen an dem innovativen Baustoff Carbonbeton und der damit einhergehenden Bauweise geforscht. Neben materialspezifischen Fragestellungen standen ebenso immer die Berechnung und die Herstellung im Fokus. Im Rahmen der Forschungsinitiative „Zwanzig20 – C<sup>3</sup> Carbon Concrete Composite“ wurden darauf aufbauend grundlegende Erkenntnisse im Bereich Material, Planung und Umsetzung gewonnen. [2] Darüber hinaus wurden Bereiche wie das Recycling, die Nachhaltigkeit und die Berechnungsgrundlagen untersucht. Die Forschungsinitiative „C<sup>3</sup>“ schloss 2022 mit der Erstellung des weltweit ersten Carbonbetonhauses (siehe Abbildung 1) in Dresden ab. [3] Des Weiteren wurden mit der Veröffentlichung des Handbuchs für Carbonbeton [4] und der Erarbeitung einer ersten Richtlinie für Bauteile mit nichtmetallischer Bewehrung [5] weitere Grundsteine für

DOI: 10.17185/dupublico/79105



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 Lizenz (CC BY-NC-ND 4.0)

den Einsatz von Carbonbeton gelegt.<sup>1</sup> Bereits während des Forschungsprojektes, aber auch darüber hinaus, wurden eine Vielzahl von Projekten in unterschiedlichen Bereichen des Neubaus aber auch im Bauen in Bestand umgesetzt. Neben dem Carbonbetonhaus aus dem Jahr 2022, welches die vielfältigen Möglichkeiten des Carbonbetons im Hochbau verdeutlicht, entstanden unter anderem Projekte mit Fassadenplatten aus Carbonbeton, Brücken und Parkhäuser. Im Bereich Bauen im Bestand ist in erster Linie die Verstärkung mit dem CARBOrefit-System [6] zu benennen, welches mittlerweile eine abZ (allgemein bauaufsichtliche Zulassung) erlangt hat und vielfältig einsetzbar ist (Verstärkung von Parkhäusern, Brücken, Silos, etc.).

Daraus folgt, dass die Grundlagen des Carbonbetons bereits erforscht und die Umsetzung in verschiedenen Bereichen erfolgreich möglich sind. Eine breitere Marktdurch-



Abbildung 1: Carbonbetonhaus [Quelle: TU Dresden, IBB]

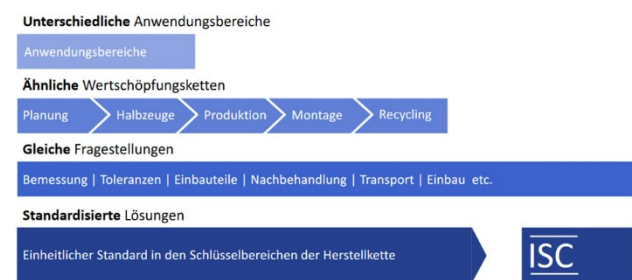
dringung ist, trotz dessen, bisher nicht zu verzeichnen. Die Gründe dafür sind vielfältig, jedoch ist in erster Linie die fehlende Normung für den Carbonbeton zu nennen. [7] Fehlende Standards und Leitlinien für die Planung und Herstellung erschweren die Umsetzung von Projekten mit Carbonbeton erheblich und hemmen die Bereitschaft von Bauherren, Planern und Ausführenden, den Baustoff in der Breite einzusetzen. In der Folge ist für den Einsatz von Carbonbeton immer eine abZ/aBG (allgemein bauaufsichtliche Zulassung/allgemeine Bauartengenehmigung) notwendig. Die Zulassung hat das Ziel „regelungsbedürftige – z. B. innovative - Bauprodukte und konstruktive Lösungen deutschlandweit in Einklang mit den Bauordnungen“ [8] zu bringen und wird vom DIBt erteilt. Liegt jedoch keine abZ/aBG vor, muss auf eine ZiE/vBG zurückgegriffen werden, welche von der Landesstelle für Bautechnik des jeweiligen Bundeslandes erteilt wird und den Einsatz eines nicht geregelten Baustoffs und Bauverfahrens für ein individuelles Bauvorhaben regelt.

Fehlende Standards für den Carbonbeton haben jedoch nicht nur Einfluss auf die Zulassungsverfahren, sondern darüber hinaus ebenso auf geregelte Planungs-, Ausschreibungs- und Herstellungsabläufe. Durch Standardisierungen können Prozesse optimiert, Kosten reduziert und gleichbleibende Qualitäten gesichert werden.

<sup>1</sup> Richtlinie für nicht metallische Bewehrung ist nicht bauaufsichtlich eingeführt.

Der Lückenschluss zwischen der Grundlagenforschung, der Überführung in den breiten Markt und der Entwicklung allgemeingültiger Standards soll im Rahmen des Forschungsprojektes RUBIN-ISC (Industriestandard Carbonbeton) erfolgen. Seit Anfang 2022 wird dazu geforscht, wie eine breitere Anwendung des Baustoffs Carbonbeton im Neubau erfolgen kann. Im Zuge des Forschungsprojektes befassen sich 15 Partner (13 KMU's und zwei universitäre Einrichtungen) mit der Standardisierung aller Prozesse des Lebenszyklus von Carbonbetonbauteilen, angefangen bei der Planung und Berechnung, über die Arbeitsvorbereitung wie die Ausschreibung und Kostenkalkulation sowie alle Prozesse der Herstellungsphase bis hin zum Recycling. (siehe Abbildung 2)

Im Fokus steht dabei nicht nur die baupraktische Umsetzung der Herstellung eines Bauteils, sondern auch die Erarbeitung einer standardisierten Qualitätssicherung, eine Handlungsempfehlung zum Thema nachträgliche



Bearbeitungsmöglichkeiten dünnwandiger Bauteile und

Abbildung 2: Übersicht zur Standardisierung [Quelle: Rubin-ISC]

die Sicherstellung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes.

## 2.2 Forschungsfragen dünnwandiger Bauteile aus Carbonbeton

Im nachfolgenden Beitrag wird die Vorgehensweise und der aktuelle Stand zu den Themen der nachträglichen Bearbeitungsmöglichkeiten schlanker Carbonbetonbauteile und die Sicherstellung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes anhand von durchgeführten Versuchen im Rahmen des Projektes RUBIN-ISC detailliert vorgestellt. Das umfangreiche Versuchsprogramm dient dabei der Beantwortung mehrerer Fragestellungen. Die Versuchskonzeption und die dazugehörigen Fragestellungen sind eine Weiterentwicklung der Versuchsreihe aus dem von 2016 bis 2018 laufenden Forschungsprojekt „C<sup>3</sup>-V1.5: Abbruch, Rückbau und Recycling von Carbonbeton“. [9]

Eine Weiterentwicklung der Versuchsreihe bezieht sich dabei insbesondere auf folgende Fragestellungen:

- Welche Besonderheiten treten bei typischen Nachbearbeitungsverfahren wie Schlitzzen, Fräsen, Bohren oder Schleifen dünner Carbonbetonbauteile hinsichtlich Staubentwicklung und

Handhabbarkeit auf?

- Können die Ergebnisse der Emissionsmessungen aus dem Forschungsprojekt C<sup>3</sup> - V1.5 mit den neuen Materialeigenschaften der Carbonbewehrung aus RUBIN-ISC (andere Zusammensetzung der Tränkungen, vielfältigere Bewehrungsdimensionierung, Bewehrungsgitter und -stäbe) verifiziert werden?
- Wie ist eine Konfektionierung der Carbonbewehrung vor Ort auf der Baustelle, durch bspw. Schneiden, hinsichtlich der Faserbelastung zu bewerten?
- Inwiefern können gängige TGA-Einbauteile der Stahlbetonbauweise für die nachträgliche Integration in dünnwandige Bauteile aus Carbonbeton Verwendung finden?

Zur Beantwortung der oben genannten Fragestellungen wurde im RUBIN-ISC ein Versuchsprogramm erarbeitet und umgesetzt. Der Beitrag beschäftigt sich insbesondere mit der Herangehensweise an die Versuchsplanung und den ersten durchgeführten Untersuchungen.

### 3 Konzeptionierung der Prüfkörper

Zunächst wurde für die Vielzahl der zu erwartenden Untersuchungen ein geeigneter Prüfkörper entwickelt, welcher in Dimensionierung und Auslegung den gestellten Anforderungen entsprach. Ziel war es, hinsichtlich des Bewehrungsgrades und der Betongüte, den angewandten Qualitäten in der Praxis zu entsprechen und der Praktikabilität bei den experimentellen Untersuchungen Genüge zu tun.



Abbildung 3: Herstellung der Prüfkörper [Quelle: TU Dresden, IBB]

So wurden Maße festgelegt, welche sowohl für zwei Personen während der Versuchsdurchführung handhabbar sind, als auch die größtmögliche Untersuchungsfläche für die Beprobung bieten. Daraus ergab sich eine Dimensionierung von 0,90 x 0,90 x 0,06 m für die Probekörper, welche bei einer Betondichte von  $\rho = 2,4 \text{ to/ m}^3$  ein mittleres Ge-

wicht von ca. 116 kg aufweisen. Weitere relevante Parameter der Versuchskörper waren die Art der Bewehrung, die Betongüte und die Art der Betonage, wobei zwischen stehender und liegender Herstellung unterschieden wurde. Sowohl die Betongüte als auch die Bewehrungstypen wurden zentral im Bündnismanagement des Projektes festgelegt. Es kam Beton der Festigkeitsklasse C30/ 37 bzw. C50/ 60 zum Einsatz. Für die Bewehrung wurden folgende vier Bewehrungstypen festgelegt:

- solidian rebar CCE, Stab 8 mm
- Solidian R31/ 71 CCE-59/25, Gitter
- Hitex HTC 21/ 21-80, Gitter
- Tudatex/ J&G Profilstab, Stab 4 mm

Um die festgelegten Bewehrungen zu beproben, wurden die Probekörper mit unterschiedlichen Bewehrungsgraden und -arten angefertigt. Mithilfe dieser Prüfkörper wurden die experimentellen Untersuchungen durchgeführt. (siehe Abbildung 3)

#### 3.1 Nachbearbeitung der Prüfkörper nach DIN 18007

Die Versuchsplanung sieht im ersten Punkt vor, die Nachbearbeitungsverfahren nach DIN 18007 in Kombination mit den Immissions- und Emissionsmessungen an den Prüfkörpern durchzuführen. Der Vorteil davon ergibt sich aus der Zusammenfassung mehrerer Arbeitsschritte und der praxisnahen Messwertgewinnung durch die Nachbearbeitung mit geeigneten und in Art und Dimension auf der Realbaustelle eingesetzten Maschinen. Anhand einer entworfenen Matrix wurden auf Grundlage der Prüfkörper-eigenschaften die verschiedenen Nachbearbeitungsverfahren durchgeführt.

Folgende sechs Testverfahren wurden für die Prüfkörper für Laborversuche gewählt:

- Vollbohren trocken
- Sägen trocken
- Schleifen trocken
- Stemmen trocken
- Kernbohren trocken
- Schlitzen trocken

Die sechs verschiedenen Verfahren sollten an je einer Platte mit unterschiedlichem Bewehrungsgrad durchgeführt werden. Die Bewehrungsgrade bestanden aus einem flächigen Carbonlege zweilagig sowie einer stabförmigen Carbonbewehrung. Für die CFK-bewehrten Platten mussten daher 24 Stück (6 Verfahren x 4 Bewehrungsgrade) hergestellt werden. Hinzu kamen sechs Platten mit Stahlbewehrung (je ein Verfahren) zu Referenzzwecken und acht unbewehrte Platten für gesonderte Fragestellungen und Vergleichsmessungen. In Summe ergab dies 38 Platten für die Versuche.

Zur Reduzierung der Plattenanzahl wurden mehrere Verfahren auf einer Platte angewandt, sodass Material und auch Kosten in umfassendem Umfang eingespart werden konnten. Die Versuche wurden mit baustellenüblichen Handgeräten durchgeführt. Zum Einsatz kamen ein Makita Akku-Bohrhammer 18 V, eine Mauernutfräse der Fa. Eibenstock, ein Betonschleifer der Fa. Eibenstock und ein Winkelschleifer der Fa. Makita mit einem Scheibendurchmesser von 230 mm. Zur Dokumentation der Versuche wurde ein umfangreiches Protokoll entwickelt, welches alle notwendigen Informationen hinsichtlich der Versuchsdurchführung beinhaltet. Die Versuche wurden von den Verfassern des vorliegenden Langtextes durchgeführt. Weiterhin waren jeweils zwei Protokollanten zur Dokumentation anwesend.

Die ersten Versuche wurden Ende Mai 2023 durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass der angedachte Umfang der Versuche den veranschlagten Zeiteinsatz von vier Werkzeugen überstieg. Eine zweite Versuchsdurchführung erfolgte Ende Juli 2023. Da bis dato immer noch nicht alle Versuche mit allen messbaren Parametern durchgeführt wurden, erfolgt eine weitere Untersuchung zu Ende September 2023.

Die Versuchsdurchführung erfolgte in einer alten Lagerhalle in der Nähe von Dresden.

### 3.2 Emissionsmessung während der Nachbearbeitung

Durch den Praxispartner Müller-BBM wurden im Rahmen der Bearbeitung von carbon- und stahlbewehrten Prüfkörpern Messungen durchgeführt, um die inhalative Exposition zu ermitteln und zu beurteilen. Im Rahmen des genannten Forschungsvorhabens C<sup>3</sup> - V1.5 gab es bereits erste ähnliche Messungen, allerdings mit anderen Bewehrungstypen und anderen Tränkungen. Somit lagen bis zu diesem Zeitpunkt keine Kenntnisse über die räumliche Verteilung der Konzentrationen der im Bündnis ausgewählten Bewehrungen vor.



Abbildung 4: Messapparate zur Emissionsmessung [Quelle: TU Dresden, IBB]

Gemessen wurden folgende Gefahrstoffe: alveolengängiger Staubanteil (A-Staub), einatembarer Staubanteil (E-Staub), Quarzstaub sowie WHO-Fasern (organische und anorganische Faserstäube) – insbesondere aus dem Bewehrungsmaterial Kohlestofffaserverstärkter Kunststoff (CFK).

Den Bewertungsmaßstab bilden dabei die Staubgrenzwerte der TRGS 900. Lungengängige Fasern nach WHO-Definition (sog. WHO-Fasern) haben gemäß Nr. 2.3 Abs. 1 der TRGS 905 eine Länge von mehr als 5 µm, einen Durchmesser von weniger als 3 µm und das Verhältnis zwischen Länge und Durchmesser ist größer als drei.

Die Faserstäube wurden durch das Probenahmegerät (siehe Abbildung 4) auf einen Goldfilter abgeschieden und anschließend mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) mit gekoppelter energiedispersiver Röntgenmikroanalyse ausgewertet. Grundlage der Auswertung sind 60 Proben auf Goldfilter.

### 3.3 Konvektionierung von Carbonbewehrung auf der Baustelle

Im Rahmen der Durchführung der Untersuchungen zu den genannten Nachbereitungsverfahren erfolgte auch eine Simulation der Konvektionierung von Carbonbewehrung auf der Baustelle. Um diese Versuche messbar zu machen, wurde in einem bestimmten Zeitrahmen eine definierte Menge an Carbonbewehrung geschnitten.



Abbildung 5: Ablagerung von Carbonstaub infolge der Konvektionierung von Stäben [Quelle: TU Dresden, IBB]

Dazu wurde die Bewehrung eingespannt und mittels Winkelschleifers (Scheibendurchmesser 115 mm) geschnitten. Neben den Aufwandswerten wurde das Material hinsichtlich seiner Praktikabilität und Baustellenhandhabbarkeit untersucht. Weiterhin wurden auch dazu Emissionsmessungen durchgeführt, um die Staubbelastung (siehe

Abbildung 5) am Bearbeiter messen zu können und gleichzeitig Lärmdosimeter getragen, womit die Lärmbelastung während der Konfektionierung von Carbonbewehrung gemessen werden konnte. Konkrete Auswertungen liegen zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht vor. Allerdings kann gesagt werden, dass kein signifikanter Unterschied in der Lärmbelastung zu herkömmlichen Stahlbetonbauteilen festgestellt werden konnte.

### 3.4 Integration von Einbauteilen der TGA

Die Forschungsfrage zur Integration von TGA Einbauteilen hat einen sehr baupraktischen Hintergrund. Es ist nicht unüblich, dass auf Baustellen auch bei dem Einsatz von Halbfertig- oder Fertigteilen nachträgliche Integrationen der technischen Gebäudeausrüstung notwendig sind. Geprüft wurden die dünnwandigen Carbonbetonbauteile hinsichtlich ihrer Eignung zur Integration.



Abbildung 6: Integrierte Leerrohre und Unterputzdosen  
[Quelle: TU Dresden, IBB]

Verfolgt werden bei den Untersuchungen grundsätzlich zwei unterschiedliche Ansätze. Erstens die Änderung der TGA Planung und zweitens die Änderung der Dimensionierung der Einbauteile. Wie auch auf der Baustelle üblich, wurden die Prüfkörper mittels der genannten Handgeräte Mauernutfräse Fa. Eibenstock und Bohrschrauber Makita 18 V dahingehend bearbeitet, als dass sowohl eine Integration von Leerrohren ( $d = 20 \text{ mm}$ ) als auch von Unterputzdosen mit einer (Tiefe =  $48 \text{ mm}$ ) umgesetzt werden konnten (siehe Abbildung 6).

## 4 Aktueller Stand der Bearbeitung der Forschungsfragen

### 4.1 Nachbearbeitbarkeit von dünnwandigen Carbonbetonbauteilen

Hinsichtlich der im vorhergehenden Kapitel aufgeworfenen Forschungsfragen lässt sich in der Auswertung bisher Folgendes zusammenfassen: Zum Bearbeitungsverfahren Schlitzeln ist festzustellen, dass die Carbonbewehrung kei-

nen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Bearbeitung des Materials hat. D.h., dass sich die Carbonbewehrung ohne merkbaren Widerstand durchtrennen lässt. Anhand der Referenzplatte mit Stahlbewehrung wurde dies hinsichtlich des gemessenen Zeitaufwandes und der aufzuwendenden subjektiven Kraft des Bearbeiters sehr deutlich. Für das Schlitzeln (Tiefe  $25 \text{ mm}$ ) einer stahlbewehrten Betonplatte wurde überschlägig die dreifache Zeit benötigt. Ähnliches war beim Vollbohren festzustellen. Während es keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Vollbohren durch Carbonbeton im Vergleich zum reinen Beton gab, war das Vollbohren einer stahlbewehrten Platte durch die Bewehrung nicht möglich. Allerdings fiel auf, dass die Abplatzungen an der Unterseite der Versuchskörper bei oberflächennaher Carbonbewehrung größer waren als bei den stahlbewehrten Versuchskörpern (siehe Abbildung 7).

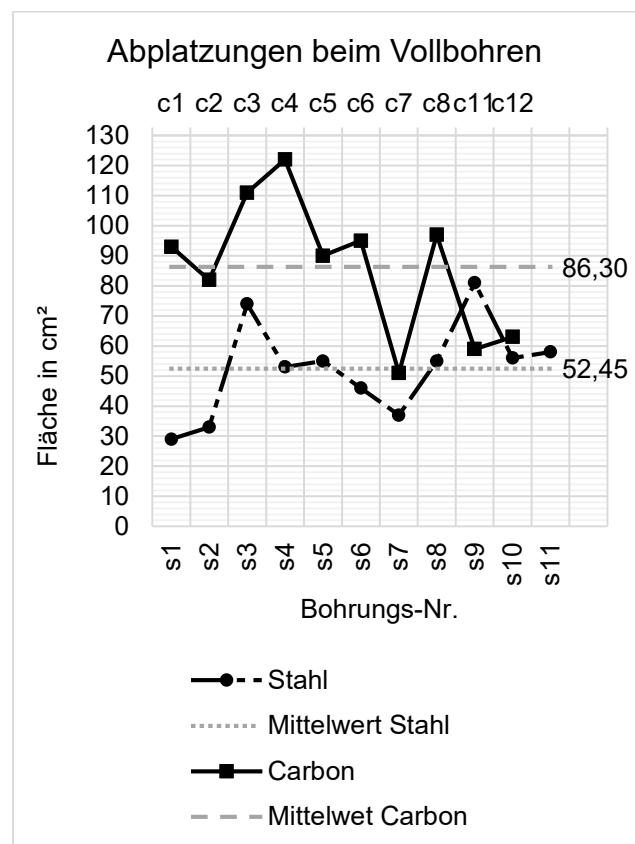


Abbildung 7: Abplatzungen infolge Vollbohren [Quelle: TU Dresden, IBB]

Beim Stemmen ergab sich kein nennenswerter zeitlicher Unterschied. Hinsichtlich der Trennung von Beton und Bewehrung muss allerdings festgehalten werden, dass insbesondere der Tudatex Stab während der Bearbeitung in kürzester Zeit Form und Festigkeit verlor, delaminierte und aufspießte. Dies war ebenfalls bei den Gitterbewehrungen von Solidian und Hitex der Fall. Beim Kernbohren wurden ähnlich signifikante Unterschiede wie beim Vollbohren festgestellt. Während sich die carbonbewehrte Platte ohne merkbareren Widerstand händisch kernbohren ließ (siehe Abbildung 8), war eine Kernbohrung durch



Stahlbeton mit den zur Verfügung stehenden Maschinen nicht möglich. Beim Sägen der Platten war kein bedeutender Unterschied zwischen Carbonbewehrung und Stahlbewehrung feststellbar. Einzig der Funkenflug infolge der Stahlbewehrung war arbeitsschutztechnisch bedenklich, kann aber als Normalität angesehen werden.



Abbildung 8: Kernbohrung durch Prüfkörper [Quelle: TU Dresden, IBB]

Das Schneiden der Carbonbetonbauteile dagegen erfordert eine etwas kürzere Zeit und es entstand kein Funkenflug. Beim Schleifen entstand ein ähnliches Bild, wie beim Verfahren Vollbohren und Kernbohren. Auch hier wurde festgestellt, dass das Schleifen von Carbonbeton ohne merkbaren Widerstand vonstatten geht.



Abbildung 9: Stemmen am Prüfkörper [Quelle: TU Dresden, IBB]

Ergänzend sei hinzugefügt, dass infolge der Stahlbewehrung die Werkzeuge in immens kurzer Zeit verschlissen waren. An den untersuchten Werkzeugen konnten jedoch kein messbarer Verschleiß infolge der Bearbeitung der Bewehrung aus Carbonfasern festgestellt werden. Zur Auswertung der Nachbearbeitungsverfahren wurden im Rahmen eines Messkonzeptes unter anderem Parameter wie

die Dauer der Bearbeitung und die Geräuschemission protokollarisch dokumentiert. Diesbezügliche Untersuchungen dauern noch an.

#### 4.2 Aktueller Stand zur Emissionsmessung

Zum Ergebnis der Emissionsmessungen können derzeit noch keine Angaben gemacht werden. Momentan werden die bereits angesprochenen Goldfilterplatten mit einem Rasterelektronenmikroskop ausgewertet und auf bedenkliche Stäube untersucht. Mit einem Prüfbericht ist bis Anfang Oktober 2023 zu rechnen.

#### 4.3 Konfektionierung von Carbonbewehrung im Baustellenumfeld

Hinsichtlich der Konfektionierung von Carbonbewehrung auf der Baustelle können bisher aufgrund der noch andauernden Emissionsuntersuchung ebenfalls keine näheren Angaben gemacht werden. Fest steht allerdings schon jetzt, dass eine Konfektionierung auf der Baustelle mittels eines Winkelschleifers ohne Probleme möglich ist. Hinsichtlich des Arbeits- und Gesundheitsschutzes infolge der entstehenden Stäube kann jedoch noch keine belastbare Aussage getroffen werden. Sowohl das Schleifen als auch Schneiden ist mit den gängigen auf der Baustelle zur Verfügung stehenden Werkzeugen problemlos möglich. Aufgefallen ist eine hohe Faserstaubbelastung, welche sich im Umfeld der Bearbeitung ablagert. Weiterhin war im Anschluss an die Bearbeitung vom Arbeiter eine nicht unerhebliche Hautreizung auf den Unterarmen festzustellen. Dies erinnerte an den Umgang mit Glaswollämmung.

#### 4.4 Aktueller Stand zur Integration von Einbauteilen der TGA

Der aktuelle Stand zur Integration von Einbauteilen der TGA nach dem ersten Versuchsdurchlauf ist Folgender: Eine Integration von Unterputzdosen mit einer Höhe von 48 mm ist möglich. Hier ist lediglich die Bauteildicke von 60 mm als limitierend anzusehen. Die Integration von Leerrohren in Carbonbetonbauteile ist ebenfalls problemlos möglich. Hinsichtlich des Aufwandes erleichternd ist in dem Szenario zu nennen, dass sich das Schlitzieren der Betonoberfläche trotz der Betondeckung von nur 10-15 mm über der Bewehrungslage als mühelos herausstellte. Als positive Eigenschaft ist hier herauszuarbeiten, dass bei der nachträglichen Integration von beispielsweise mehreren aneinandergereihten Unterputzdosen keine Stahlbewehrung, wie sonst üblich, durchgeschnitten werden musste, sondern die Carbonbewehrung eine Positionierung wie vom Nutzer/ Planer gewünscht möglich machte. Weitere Untersuchungen folgen voraussichtlich im Dezember 2023.

### 5 Zusammenfassung und Ausblick

Eine Zusammenfassung ist auf Grund der aktuell noch offenen Versuchsauswertung insbesondere hinsichtlich der

Emissionsmessungen zum Thema Sicherheits- und Gesundheitsschutz nur in Ansätzen möglich. Dabei ist anzumerken, dass keine kritischen Stäube, insbesondere bei den Versuchen zur Nachbearbeitung erwartet werden. Allerdings kann aktuell nicht vorhergesehen werden, welchen Einfluss weiterentwickelte Herstellverfahren und neue Tränkungen haben.

Resümierend wird festgehalten, dass die Materialeigenschaften von Carbonbeton in vielen Punkten als vorteilhaft gegenüber Stahlbeton anzusehen sind. Korrosionsfreiheit, Gewichtersparnis, ökologische Faktoren und die mögliche Formflexibilität stellen lediglich eine Auswahl der vorhandenen Vorteile dar. Die positiven Nachbearbeitungseigenschaften, insbesondere hinsichtlich Werkzeugverschleiß und Zeitansatz, ergeben einen signifikant messbaren Unterscheid zu Stahlbeton.

Als nachteilig sind aktuell der Materialpreis, das nicht wirtschaftliche Recycling und die fehlende Normung anzusehen. [11] Letzteres wird im Rahmen des laufenden RUBIN-ISC Projektes aufgegriffen, da dies eine wesentliche Markteintrittsbarriere darstellt.

## 6 Literatur

- [1] Otto, J.; Adam, R.: Carbonbeton und Stahlbeton im wirtschaftlichen Vergleich. In: Bauingenieur 94 (2019), Heft 06, S. 246-252.
- [2] Lieboldt, M.; Tietze, M.; Schladitz, F. (2018) C3-Projekt – Erfolgreiche Partnerschaft für Innovation im Bauwesen. In: Bauingenieur 93, Heft 7/8, S. 265–273.
- [3] Curbach, M. [ed.] (2022) CUBE: Neues Bauen mit Carbonbeton – New Building With Carbon Concrete. Berlin: Wasmuth & Zohlen.
- [4] Curbach, M.; Hegger, J.; Schladitz, F.; Tietze, M.; Lieboldt, M. [Hrsg.]. (2023) Handbuch Carbonbeton – Einsatz nichtmetallischer Bewehrung, 1. Auflage. Ernst & Sohn GmbH.
- [5] DAfStb-Richtlinie (2022-11, Entwurf) Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung. Beuth, Berlin.
- [6] CARBOrefit, 2022, <https://carborefit.de/> [Zugriff am 08.09.2023].
- [7] Otto, J.; Wiel, R.; Kortmann, J. et al.: Wissenstransfer als Grundlage für Innovationen im Bauwesen – Eine fallspezifische Betrachtung am Beispiel von Carbonbeton. In: Bauingenieur 97 (2022), Heft 10, S. 307-315.
- [8] DIBt, 2022, <https://www.dibt.de/de/wir-bieten/zulassungen-etas-und-mehr/abz-abg> [Zugriff am 08.09.2023].
- [9] C<sup>3</sup> - Bauen neu denken - V1.5: <https://www.bauen-neu-denken.de/vorhaben/v1-5-abbruch-rueckbau-und-recycling-von-c%20b3-bauteilen/Literaturp-abst> [Zugriff am: 08.09.2023].
- [10] Wesche, K, Schubert, P.: Baustoffe für tragende Bauteile, Band 2: Beton, Mauerwerk, 3, Auflage, Wiesbaden und Berlin 1993, S. 148
- [11] Jahn, A.: Analyse der Lebenszykluskosten von Bauteilen aus Carbonbeton, Diplomarbeit, Dresden, 2022

# Potenziale zur Verlängerung der Gesamtnutzungsdauer von Gebäuden

## Potentials for extending the total useful life of buildings

Charlotte Dorn, Technische Universität Dresden, Institut für Baubetriebswesen, Nürnberger Straße 31A (01189 Dresden), charlotte.dorn@tu-dresden.de

### Kurzfassung

Im Vergleich zu anderen Wirtschaftsgütern haben Gebäude eine deutlich längere Lebensdauer. In der Literatur werden beispielhaft für Wohnimmobilien Gesamtnutzungsdauern von bis zu 80 Jahren genannt. [1,2] Dennoch werden Gebäude häufig vor Erreichen dieser Nutzungsdauer rückgebaut. Die Frage nach dem „Warum“ wurde bislang nicht wissenschaftlich untersucht, die bestehende Forschung konzentriert sich auf die Haltbarkeit einzelner Bauteile und Baumaterialien aus technischer Sicht. Ganzheitliche Untersuchungen mit einem bauwerksbezogenen Ansatz, welcher Konstruktion, Nutzeranforderungen, soziale und ökonomische Einflüsse berücksichtigt, gibt es nicht. Das Forschungsprojekt LoLaRE (Long-Lasting Real Estate) strebt einen umfassenden und differenzierten Überblick über die Faktoren an, die zu vorzeitigem Gebäudeabbruch führen, mit dem übergeordneten Ziel, das Wissen über die Verlängerung der Gebäudenutzungsdauer zu erweitern. Es konzentriert sich insbesondere auf die Perspektiven von Gebäudeeigentümern und anderen Marktteilnehmern wie Nutzern, um eine praxisnahe Bewertung dieser Einflussfaktoren zu ermöglichen. Im Fokus stehen die Fragestellung, wie Immobilien möglichst lange im Lebenszyklus gehalten werden können und welche Potenziale sich aus den Gründen für den Gebäudeabbruch ableiten lassen.

### Abstract

Compared to other assets, buildings have a significantly longer useful life. In the literature, total useful lives of up to 80 years are cited as examples for residential real estate. [1,2] Nevertheless, buildings are often demolished before reaching this useful life. The question of "why" has not yet been scientifically investigated; existing research focuses on the durability of individual components and building materials from a technical point of view. There are no holistic studies with a building-related approach, which takes into account construction, user requirements, social and economic influences. The LoLaRE (Long-Lasting Real Estate) research project aims to provide a comprehensive and differentiated overview of the factors leading to premature building demolition, with the overall objective of increasing knowledge on how to extend the useful life of buildings. It focuses in particular on the perspectives of building owners and other market participants such as users in order to enable a practical assessment of these influencing factors. The focus is on the question of how real estate can be kept as long as possible in the life cycle and which potentials can be derived from the reasons for building demolition.

## 1 Einleitung

Das wachsende Bewusstsein für die Notwendigkeit ressourcenschonender und emissionsreduzierter wirtschaftlicher Maßnahmen stellt die Immobilienbranche vor neue Herausforderungen. Themen wie Energieeffizienz, Heizmethoden und Baustoffe stehen im wissenschaftlichen und öffentlichen Fokus. Während der Betrieb des Gebäudes insbesondere bezogen auf die einzubringende Energie durch verschiedene Maßnahmen in den vergangenen Jahren verbessert wurde, wird der Herstellungsphase weniger Aufmerksamkeit gewidmet. Sogenannte graue Emissionen und Energien werden in vielen Betrachtungen oder Bewertungskonzepten nur eingeschränkt oder gar nicht berücksichtigt. Dies mag begründet sein durch den im Verhältnis geringeren Anteil an Emissionen, den die Errichtungsphase im Vergleich zur Betriebsphase verursacht. In der Literatur wird dieses Verhältnis auf 20 bis 25 Prozent Erstellung zu 75 bis 80 Prozent Betrieb bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen betitelt. [3,4] Energetisch beläuft sich das

Verhältnis auf ca. 40 bis 50 Prozent Betrieb zu 50 bis 60 Prozent Erstellung bezogen auf die Graue Energie bzw. den nicht-erneuerbaren Primärenergieaufwand in Abhängigkeit des energetischen Standards. [4,5] Bemessen am Lebenszyklus hat die Erstellung jedoch einen sehr geringeren Anteil, die Erstellungsphase sollte daher im Kontext der übergeordneten Herausforderungen nicht vernachlässigt werden.

Im Vergleich mit anderen Wirtschaftsgütern haben Gebäude erheblich längere Lebensdauern. Für Wohngebäude sind in der Literatur Lebensdauern von bis zu 80 Jahren beschrieben, Nichtwohngebäude erreichen in Abhängigkeit ihrer spezifischen Nutzung Lebensdauern von bis zu 70 Jahren. [1,6]

Die Lebensdauer umfasst den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes von der Herstellung bis zur Entsorgung. Davon abzugrenzen ist die Nutzungsdauer, welche mit der Inbetriebnahme im Sinne der geplanten Gebäudenutzung beginnt und endet mit der Außerbetriebnahme durch Leerstand oder Gebäudeabbruch. In diesem Artikel wird auf

DOI: 10.17185/dupublico/79106



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 Lizenz (CC BY-NC-ND 4.0)

die Gesamtnutzungsdauer Bezug genommen, dies schließt Erst- und Folgenutzungen gleichermaßen ein. Wird das Gebäude also abgebrochen und durch ein neues Gebäude ersetzt, entstehen graue Emissionen und graue Energien. Wenn die mögliche Lebensdauer nicht ausgenutzt wird, verkürzt sich der Bedarfszyklus, langfristig betrachtet steigt der Anteil der nicht rückgewinnbaren Energie und der produzierten Emissionen. Zudem wächst der Bedarf an weitere, teilweise endliche Ressourcen, die durch die Neuerrichtung gebunden werden. Diese Ressourcen können nur teilweise in einem Kreislauf gehalten werden, denn einige Ressourcen können nicht recycelt werden. Die Folgen sind Downcycling oder Entsorgung des Materials.

Aus ökologischer Sicht ist es demnach sinnvoll, Gebäude möglichst lange nutzbar zu halten. Auch aus wirtschaftlicher Sicht kann dies langfristig sinnvoll sein, insbesondere vor dem Hintergrund voranschreitender politischer Maßnahmen zur Kompensation schädlicher Umweltauswirkungen.

Doch wie können Gebäude länger im Lebenszyklus gehalten werden und wie kann die Gesamtnutzungsdauer beeinflusst werden? Diese Fragestellungen sind bislang wenig erforscht. Die Kenntnis über die Ursachen, welche insbesondere dazu führen, dass Gebäude frühzeitig, also vor Erreichen ihrer üblichen Gesamtnutzungsdauer, abgebrochen werden, bildet eine wichtige Grundlage für künftige Planungsentscheidungen und reelle Einflussfaktoren für oder gegen das frühzeitige Ausscheiden eines Gebäudes im Kontext der Herausforderungen bewerten zu können. Die daraus generierten Erkenntnisse können dazu beitragen, nicht ausgenutzte Potenziale zur Verlängerung der Gesamtnutzungsdauer von Gebäuden zu erkennen und zu nutzen.

## 2 Stand der Forschung

Konkrete Ursachen für den Abbruch von Gebäuden sind wissenschaftlich unerforscht. Bei Publikationen zu diesem Thema handelt es sich um nichtwissenschaftliche Veröffentlichungen, welche allgemeine Gründe für den Abbruch eines Gebäudes für branchenfremde Privatpersonen erläutern.

Gebäudeabbrüche bzw. Gebäudeabgänge sind anzuzeigen und werden folglich statistisch erfasst. Im Zuge einer Bauabgangsanzeige werden acht verschiedene Ursachen für den Abbruch des Gebäudes erfasst, die in die amtliche Statistik einfließen. Die erfassten Gründe für den Abgang von Gebäuden durch die Abbruchgenehmigung nehmen eine unscharfe Klassifizierung der Ursachen vor. Eine Differenzierung erfolgt vorrangig hinsichtlich der weiteren Nutzung der Grundstücksfläche und geht nicht auf die konkreten Gründe ein bzw. stellt keinen Zusammenhang zu der Nutzungsdauer des Gebäudes her. Zudem sind Informationen zu den Gebäudeabgängen nur eingeschränkt verfügbar. Auch zur Dauerhaftigkeit und Langlebigkeit von

Immobilien gibt es in der bestehenden Forschung vorrangig Erkenntnisse zu der Lebensdauer und den Einflüssen auf diese in Bezug auf die einzelnen Bauteile und Bauwerkstoffe der Gebäude. Diese Forschung ist auf die technische Funktionalität beschränkt. Forschungen mit einem gesamtheitlichen, bauwerkbezogenen Ansatz im Kontext Architektur – Konstruktion – Nutzeranforderungen – Wirtschaftlichkeit gibt es nicht. Der bisher untersuchte bauteilbezogene Ansatz berücksichtigt jedoch nicht weitere wichtige Einflussfaktoren. Insbesondere soziale und ökonomische Einflüsse, welche aus Sicht der Investoren bzw. Bauherren bestehen, sind außer Acht gelassen. Diese bergen ein großes Potenzial, schließlich sind die Eigentümer der Immobilie die Entscheidungsträger über den möglichen frühzeitigen Rückbau des Gebäudes.

## 3 Das Forschungsprojekt LoLaRE

Das Forschungsprojekt Long-Lasting Real Estate (LoLaRE) soll die vorhandene Forschungslücke schließen, indem die tatsächlichen Faktoren für bzw. gegen den Abbruch eines Gebäudes ganzheitlich und praxisnah zusammengestellt werden. Der in der Projektbearbeitung avisierte Einbezug der Immobilieneigentümer ermöglicht eine Bewertung der Einflussfaktoren hinsichtlich ihrer Häufigkeit und ihrer Beeinflussbarkeit, wodurch zukünftig effektive Maßnahmen zur Erhöhung der Nutzungsdauer von Immobilien abgeleitet werden können. Das Projekt hat eine Laufzeit von zwei Jahren und wird durch die Förderung der Zukunft Bau Forschungsförderung unterstützt. Die Bearbeitung erfolgt durch das Institut für Baubetriebswesen der Technischen Universität Dresden.

### 3.1 Projektziele

Das Forschungsprojekt verfolgt zwei Ziele. Dies ist zum einen die Erhebung von Informationen zu Abgangsursachen zur Schließung von bestehenden Wissenslücken in dieser Thematik. Aufbauend darauf fokussiert das Forschungsvorhaben die Untersuchung der Potenziale zur Vermeidung von frühzeitigem Rückbau von Gebäuden. Angestrebt ist eine umfängliche und differenzierte Darstellung der Einflussfaktoren auf den vorzeitigen Abbruch. Im Fokus der Untersuchung steht insbesondere die Sichtweise der Immobilieneigentümer und weiterer Marktteilnehmer, wodurch eine praxisnahe Erhebung der Einflussfaktoren erreicht wird.

Es werden mehrere Fragen beantwortet, unter anderem welche Gründe für oder gegen einen frühzeitigen Abbruch es aus Sicht der Entscheidungsträger gibt, welche Gründe beeinflussbar sind und zu welchem Zeitpunkt im Lebenszyklus diese zu berücksichtigen sind und wie die wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen der Berücksichtigung der Gründe bewertet werden können. Daraus abgeleitet ergeben sich Potenziale für das längere Halten des Gebäudes im Lebenszyklus.

Abzugrenzen ist die Verlängerung der technisch möglichen Lebensdauer des Gebäudes, welches nicht Ziel des Forschungsvorhabens ist. Es geht vorrangig um die Verlängerung der Gesamtnutzungsdauer sowie die Vermeidung frühzeitiges Ausscheidens.

Der Fokus der Untersuchungen liegt auf Wohngebäude mit mehr als drei Wohneinheiten sowie Büro- und Geschäftsgebäude und Hotels.

### 3.2 Herangehensweise

Das Forschungsvorhaben ist in vier Arbeitspakete gegliedert. Die Datenerhebung erfolgt durch eine Sekundär- und eine Primäruntersuchung.

Das erste Arbeitspaket umfasst, neben der Aufbereitung der bereits erfassten Gründe für beziehungsweise gegen den Abbruch eines Gebäudes, eine umfassende Aufarbeitung der statistischen Grundlagen zu den dokumentierten Gebäudeabgängen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen des ersten Arbeitspaketes werden in Arbeitspaket 2 die Experten identifiziert sowie ein Befragungskonzept erstellt und durchgeführt. Das Ziel der Befragung ist die umfängliche Erfassung praxisrelevanter Einflüsse auf die Entscheidungsfindung zum Abbruch von Gebäuden.

Im dritten Arbeitspaket werden die erhobenen Einflussfaktoren gewertet. Bewertung der Einflussfaktoren soll auch im wirtschaftlichen und ökologischen Sinne erfolgen. Übergeordnet steht die Frage der Beeinflussbarkeit der Gründe für einen frühzeitigen Abbruch, die Bewertung der Einflussfaktoren hinsichtlich der Auswirkungen auf die tatsächliche Nutzungsdauer sowie eine allgemeine Einordnung der möglichen Maßnahmen in den Lebenszyklus des Gebäudes.

In Arbeitspaket 4 findet die Zusammenführung der gewonnenen Erkenntnisse der vorangegangenen Arbeitspakete statt. Das Ziel ist die Überführung der Ergebnisse zu relevanten Potenzialen zur Verlängerung der Gesamtnutzungsdauer in eine verwertbare Form.

Der Artikel konzentriert sich auf die Ergebnisse aus Arbeitspaket 1 sowie die Grundlagen von Arbeitspaket 2.

## 4 Statistische Datengrundlage

Zu Beginn der Untersuchung steht die Auswertung der vorliegenden statistischen Datensätze zu Bautätigkeiten. Hierbei werden insbesondere quantitative Informationen über Bauabgänge bezogen auf das Gebäudealter und die Abgangsursache analysiert. Das Ziel ist die Darstellung der aktuell bekannten Lage und der Informationsverfügbarkeit, aus welcher zum einen Informationslücken identifiziert, zum anderen möglichen ableitbaren Aussagen aus den statistischen Datensätzen untersucht werden.

### 4.1 Begriffsdefinitionen

Zum besseren Verständnis sollen zunächst einige wichtige Begriffe definiert werden, welche für die Struktur der statistischen Daten relevant sind.

Die Bautätigkeitsstatistik unterscheidet grundsätzlich zwischen Gebäuden und Gebäudeteilen, die Untersuchung fokussiert vollständige Gebäude.

Unter dem Begriff Gebäude werden überdachte, selbständig nutzbaren, auf Dauer errichtete Bauten erfasst. Unterkünfte, die nur für begrenzte Dauer errichtet werden, sowie behelfsmäßige Nichtwohnbauten werden nicht erfasst. Tief-, Infrastruktur- und Ingenieurbauten sind nicht Teil der Bautätigkeitsstatistik. [7]

In der statistischen Erfassung ist zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden unterschieden. Wohngebäude sind Gebäude, deren Gesamtnutzflächen mindestens zur Hälfte Wohnzwecken dient. Wohnzwecke schließen dabei ständig einem wechselnden Kreis von Nutzern entgeltlich zur Verfügung gestellte Flächen (z. B. Ferienhäuser) aus. Wohngebäude werden weiterhin untergliedert nach ihren Wohneinheiten. Es wird unterschieden in Wohngebäude mit einer Wohneinheit, zwei Wohneinheiten und drei oder mehr Wohneinheiten. Zusätzlich werden Wohnheime separat erfasst.

Nichtwohngebäude umfassen alle Gebäude, die überwiegend Nichtwohnzwecken dienen und nicht unter die Definition von Wohngebäuden fallen. Ferner werden diese untergliedert in Anstaltsgebäude, Büro- und Verwaltungsgebäude, Landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude, sonstige Nichtwohngebäude. Bei Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude werden Fabrik- und Werkstattgebäude, Handelsgebäude, Warenlagergebäude und Hotels- und Gaststätten differenziert.

Statistische erhoben werden Daten zu Bauabgängen. Unter einem Bauabgang ist zu verstehen, dass ein Gebäude seiner Nutzung entzogen wird. Dies kann, neben dem Entzug durch bauaufsichtliche Maßnahmen, Schadensfällen oder dem Abbruch auch durch eine Nutzungsänderung zwischen Wohn- und Nichtwohnbau geschehen, wobei die Nutzungsänderung nicht mit einer baulichen Maßnahme einhergehen muss. [7]

### 4.2 Datenverfügbarkeit und –struktur

Die Erhebung statistischer Daten obliegt den Ländern. Die sechzehn statistischen Landesämter erheben Daten zur Bautätigkeiten in Deutschland, diese werden teilweise zu bundesweiten Datensätzen zusammengefasst und durch das Statistische Bundesamt veröffentlicht. Die Daten zu Bautätigkeiten werden im Themengliederungspunkt 3 „Wohnen, Umwelt“ erfasst, dort gibt es den Themenbereich 31 „Gebäude und Wohnen“. Dieser Themenbereich ist weiterhin untergliedert in die Bautätigkeit und die Bestandsfortschreibung. Art und Qualität der zu erhebenden Daten sind zentral durch das Hochbaustatistikgesetz

(HBauStatG) festgelegt. Unter dem Titel „Bautätigkeit“ werden Daten zu Baugenehmigungen, Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgängen erhoben. Zusätzlich wird der aktuelle Gebäudebestand anhand der in der Bautätigkeitsstatistik erhobenen Daten (insbesondere Fertigstellung und Abgang) ermittelt. Die Bestandsfortschreibung basiert auf Berechnungen und stellt daher nur eine Abschätzung des realen Bestands dar. Der tatsächliche Bestand wurde zuletzt durch den Zensus 2011 ermittelt, Daten des Zensus 2022 sind zum Untersuchungszeitpunkt noch nicht veröffentlicht.

Für die Auswertung sind vorrangig die Daten zu Bauabgängen von Relevanz. Im Zuge der Bauabgangsanzeige werden folgende Daten erfasst:

- allgemeine Angaben zum Eigentümer (Art),
- Monat und Jahr des Abgangs,
- Lage des Gebäudes nach Gemeinde,
- Art und Baujahr des Gebäudes,
- Umfang, Art und Ursache des Bauabgangs sowie
- Größe des Bauabgangs.

Die Art des Eigentümers, das Baujahr, die Art des Gebäudes sowie Umfang, Art und Ursache des Bauabgangs sind in vordefinierten Kategorien anzugeben. Für alle weiteren Informationen sind eigenständig Abgaben zu machen.

Für die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens sind die Daten zum Baujahr und den Ursachen von Relevanz, weshalb der Fokus im Folgenden auf diesen liegt.

Die Daten sind zum Teil frei verfügbar in Form der Bautätigkeitsberichte der Bundesländer. Jedoch besteht eine Pflicht zur Offenlegung nur für bestimmte Datenarten, konkret Baugenehmigungen und Baufertigstellungen. Für Bauabgänge gibt es keine Verpflichtung zur Veröffentlichung der Datensätze, da diese lediglich für die Fortschreibung des Bestandes genutzt werden.

Die Bauabgangsdaten können über verschiedene Wege eingesehen werden. Über die Genesis Onlinedatenbank des Statistischen Bundesamts sind Daten von 2015 bis 2021 für die einzelnen Bundesländer und das gesamte Bundesgebiet verfügbar. Die Datensätze umfassen ausschließlich Informationen zum Baujahr, der Gebäudeart und dem Eigentümer. [8]

Über die Statistische Bibliothek des Statistischen Bundesamts sind in der Fachserie 5 Reihe 1 Daten zum Abgang ganzer Gebäude nach Anzahl, Baujahr und Abgangsursache von 1976 bis 2022 verfügbar. Hier weicht jedoch Kategorisierung des Baujahrs und der Abgangsursachen ab, ferner sind keine überlagerten Daten von Baujahr und Ursache vorhanden. [9]

Über die Online-Datenbank Statista sind lediglich Daten von 2002 bis 2021 zu Abgängen von Wohngebäuden nach Gebäudeart vorhanden. [10]

Über die statistischen Landesämter sind ebenfalls Daten zu beziehen. Die Datenverfügbarkeit ist daher aufgrund der freiwilligen Veröffentlichung deutschlandweit nicht homogen. Nur sieben Bundesländer veröffentlichen Daten zu den Gesamtabgangsstatistiken in einem Zeitraum

von mindestens 2008 bis 2020. Davon veröffentlichen fünf Bundesländer Daten zu Abgangsursachen in einem Zeitraum von mindestens 2008 bis 2020. Vier Bundesländer veröffentlichen Daten zum Baujahr im selben Zeitraum.

Von allen Bundesländern sind Daten zu Baufertigstellung und Bestandsfortschreibung bekannt. Es wurde untersucht, ob es möglich ist über diese Datensätze Rückschlüsse über die Gebäudeabgänge zu ziehen. Die Daten zeigten jedoch, dass es hier große Ungenauigkeiten insbesondere im Kontext des Zensus 2011 gibt und diese Methode keine gesicherten Datenschlüsse zulässt.

Ein Übereinanderlegen der Daten von Baujahr zu Abgangsursache gibt es nicht, sodass aus den frei verfügbaren Daten in Bezug auf die Forschungsfragen keine signifikanten Rückschlüsse gezogen werden können. Generell ist die Datenlage der frei verfügbaren Daten lückenhaft, dies ist insbesondere durch die nur teilweise Veröffentlichung durch die statistischen Landesämter zu begründen.

Auf Anfrage konnten vollständige Datensätze über die statistischen Landesämter bezogen werden, die neben den Gesamtabgangszahlen auch Informationen zum Baujahr und den Abgangsursachen über den Zeitraum von 2007 bis 2021 beinhalten.

Die Daten liegen in unterschiedlichen Strukturen und mit unterschiedlichem Fokus vor. Zwei Datensätze zu den Gesamtabgängen unterscheiden nach Art, Baujahr und Ursache sowie den übergeordneten Kategorien Wohnen und Nichtwohnen. Die Daten unterscheiden sich durch den Einbezug bzw. den Nichteinbezug der Ursache „Nutzungsänderung“.

Ein weiterer Datensatz differenziert nach Art des Gebäudes und Abgangsursache, wobei die Kategorien Wohnen und Nichtwohnen in ihren Untergliederungen dargestellt sind.

Ein weiterer Datensatz stellt den Abgang nach Art des Gebäudes und Baujahr dar, wobei die Kategorien Wohnen und Nichtwohnen in ihren Untergliederungen dargestellt sind. Alle Daten lassen keine Überlagerung der Daten zu, sodass keine Rückschlüsse zwischen Baujahr und Abgangsursache gezogen werden können.

Im Folgenden sollen Daten aus der Abfrage der statistischen Landesämter und die wichtigsten Ergebnisse vorgestellt werden.

### 4.3 Gebäudeabgänge nach Baujahr

Das Baujahr ist in vordefinierten Kategorien angegeben. Eine Unterscheidung nach den Unterarten von Wohnen und Nichtwohnen wird vorgenommen. Über den Betrachtungszeitraum vom 2007 bis 2021 verändern sich die Kategorien, wie in **Bild 1** dargestellt. Im Zeitraum von 2007 bis 2015 sind die Kategorien „bis 1900“, „1901 – 1918“, „1919 – 1948“, „1949 – 1962“, „1963 – 1970“, „1971 – 1980“ und „nach 1980“. Im Zeitraum von 2016 bis 2021 sind die Kategorien „vor 1919“, „1919 – 1948“, „1949 – 1978“, „1979 – 1986“, „1987 – 1990“, „1991 – 1995“, „1996 – 2010“ und „nach 2010“.

Kategorisierung zur Erfassung des Baujahres von 2007 bis 2015

1901 - 1918	1919 - 1948	1949 - 1962	1963 1970	1971 - 1980	nach 1980
-------------	-------------	-------------	--------------	-------------	-----------

Kategorisierung zur Erfassung des Baujahres von 2016 bis 2021

vor 1919	1919 - 1948	1949 - 1978	1979 - 1986 1987 1990	1991 1995	1996 - 2010	nach 2010
----------	-------------	-------------	-----------------------------	--------------	-------------	-----------

**Bild 1** Kategorisierung zur Erfassung des Baujahres

Durch die Kategorisierung sind Rückschlüsse, die durch die Auswertung der Gebäudeabgänge nach Baujahr über das Gebäudealter gezogen werden können, aus drei Gründen nur eingeschränkt möglich. Der erste Grund ist die Erfassungsart durch die Kategorisierung. Die Kategorien umfassen teilweise sehr große Zeiträume von bis zu 30 Jahren. Die kürzeste Kategorie umfassen hingegen nur fünf Jahre. Die Verteilung der Baujahre ist unregelmäßig. Die Verteilung innerhalb insbesondere der Kategorien, die große Zeitspannen umfassen, ist unbekannt. Der zweite Grund hängt mit dem Erfassungsfokus zusammen. Da sich die Werte auf das Baujahr beziehen, sind die Kategorien fortlaufend, lassen sich über einen längeren Zeitraum hinweg keine klaren Aussagen zum Gebäudealter ableiten, da dieses sich jährlich verändert. Als dritter Grund ist zu nennen, dass durch die Veränderung der erfassten Zeitspannen zum Jahr 2016 keine einheitliche Betrachtung über einen längeren Zeitraum möglich ist.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Einschränkungen wurden die statistischen Daten ausgewertet, die Ergebnisse werden beispielhaft an den Jahren 2016 und 2021 vorgestellt. Im Jahr 2016 sind 17.650 Gebäude (Wohnen und Nichtwohnen) abgegangen. Davon hatten den größten Anteil die Gebäudeabgänge mit den Baujahren 1949 bis 1987 mit 31,6 Prozent. Im Jahr 2021 sind 14.090 Gebäude (Wohnen und Nichtwohnen) abgegangen. Davon hatten den größten Anteil die Gebäudeabgänge mit den Baujahren 1949 bis 1978 mit 37,5 Prozent. Das Durchschnittsalter der Abgänge 2016 liegt bei 53 Jahren. Das Durchschnittsalter der Abgänge 2021 liegt bei 62 Jahren. Dieser Wert ist eigenständig nicht belastbar, da die Verteilung innerhalb der Kategorien unbekannt ist, es wurde für die vereinfachte Berechnung der Mittelwert angesetzt. Mit der vorliegenden Datengrundlage lässt sich dieser Wert nicht weiter bestätigen. Es lässt sich lediglich eine Tendenz ableiten, welche vermuten lässt, dass Gebäude seit 2016 vermehrt mit einem höheren Gebäudealter abgegangen sind. Das Durchschnittsalter verändert sich aufgrund der Erhebungsmethodik mit den vorgegebenen Kategorien. Dennoch steigt das Durchschnittsalter nach dieser Berechnung stärker an, als der zeitliche Abstand der Datensätze.

Aussagekräftiger sind die Ergebnisse in einem detaillierteren Betrachtungsrahmen, hier sollen die Wohngebäude als Beispiel genutzt werden. 2016 sind 7.278 Wohngebäude abgegangen, 2021 waren es 5.249 Wohngebäude. Den größten Anteil hatten weiterhin in beiden Jahren Wohngebäude mit dem Baujahr von 1949 bis 1978 mit 2.394 bzw. 2.145 Gebäuden und 32,9 bzw. 40,9 Prozent.

Wohngebäude haben, wie einleitend aufgeführt, durchschnittliche Lebensdauern von bis zu 80 Jahren. Gebäude mit einem Baujahr ab 1979 sind folglich maximal 37 (in 2016) bzw. 42 (in 2021) Jahre alt. Dies liegt deutlich unter den möglichen Lebensdauern.

In 2016 sind 2.191 Wohngebäude mit einem Baujahr 1979 oder später abgegangen, das entspricht ca. 30 Prozent der Wohngebäudeabgänge in diesem Jahr. 2021 betrifft dies nur noch 842 Wohngebäude, was ca. 16 Prozent der Wohngebäudeabgänge in diesem Jahr entspricht. Auch unter Berücksichtigung der Jahre zwischen 2016 und 2021 lässt sich eine rückläufige Tendenz ableiten.

Für die Untersuchung besonders von Relevanz sind Wohngebäude mit drei oder mehr Wohneinheiten. Im Jahr 2016 sind 1.668 Wohngebäude mit drei oder mehr Wohneinheiten abgegangen, davon wurden rund 35 Prozent, in Summe 582 Gebäude, 1979 oder später errichtet. Im Jahr 2021 sind 974 Wohngebäude mit drei oder mehr Wohneinheiten abgegangen, von diesen wurden rund 23,6 Prozent, bzw. 230 Gebäude, nach 1978 errichtet.

Auch diese Zahlen zeigen eine rückläufige Tendenz, obwohl sich der Rückgang zwischen 2021 im Vergleich zu 2016 nicht so deutlich zeigt, wie bei der Gesamtbetrachtung der Wohngebäude.

Auch wenn die statistische Datenbetrachtung zeigt, dass die Abgänge jüngerer Gebäude prozentual und in Summe rückläufig sind, sind dennoch fast ein Viertel der Abgänge von Wohngebäuden mit drei oder mehr Wohneinheiten zum Zeitpunkt ihres Abgangs maximal 42 Jahre alt. Dies liegt deutlich unter den technisch möglichen Lebensdauern. Die bereits diskutierten Einschränkungen der Aussagekraft der statistischen Daten bleiben bestehen.

#### 4.4 Bauabgangsursachen

Auch die Abgangsursache ist in vordefinierten Ursachen anzugeben, diese sind über den Betrachtungszeitraum von 2007 bis 2021 konstant.

Die Bauabgangsanzeige unterscheidet acht Ursachen, die dem Anzeigenden zur Auswahl gestellt werden. Diese Ursachen sind:

- Schaffung öffentlicher Verkehrsflächen,
- Schaffung von Freiflächen,
- Errichtung eines neuen Wohngebäudes,
- Errichtung eines neuen Nichtwohngebäudes,
- infolge bauordnungsrechtlicher Unzulässigkeit,
- infolge eines außergewöhnlichen Ereignisses (z. B. Brand, Explosion, Einsturz),
- aus sonstigen Gründen und
- infolge einer Nutzungsänderung.

Die ersten sieben Ursachen beziehen sich auf einen Totalabgang, die Nutzungsänderung setzt einen Wechsel der Nutzung zwischen Wohn- und Nichtwohnen.

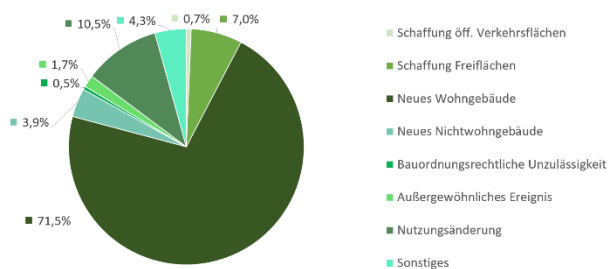
Analog zu den statistischen Daten der Baujahre ist auch bei den Bauabgangsursachen die Auswertung und Aussagekraft kritisch zu bewerten, vorrangig zu begründen ist

dies durch den Fokus und die Erfassungstiefe der vorgegebenen Ursachen. Die erfassten Ursachen sind nicht fokussiert auf den Bestand, sondern auf die künftige Verwertung des Grundstücks.

Auszugsweise sind im Folgenden die Ergebnisse für das Beispieljahr 2021 aufgeführt.

Die drei häufigsten Abgangsursachen für Gebäude (Wohnen und Nichtwohnen) waren die Errichtung eines neuen Wohngebäudes (41,5 Prozent), infolge einer Nutzungsänderung (32,6 Prozent) und die Errichtung eines neuen Nichtwohngebäudes (10,6 Prozent).

Bei Betrachtung der Wohngebäude waren die drei häufigsten Abgangsursachen die Errichtung eines neuen Wohngebäudes (71,5 Prozent), infolge einer Nutzungsänderung (10,5 Prozent) und die Schaffung von Freiflächen (7,0 Prozent). Eine Übersicht der weiteren prozentualen Aufteilung ist **Bild 2** zu entnehmen.

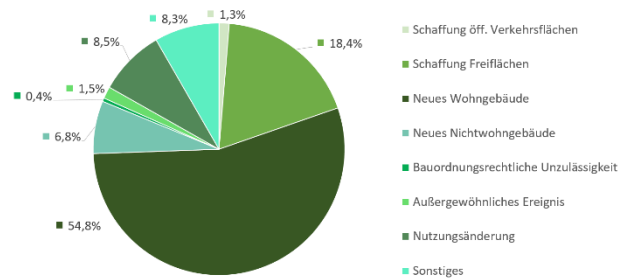


**Bild 2** Bauabgangsursachen Wohngebäude 2021

Die drei häufigsten Abgangsursachen von Wohngebäuden mit drei oder mehr Wohneinheiten entsprechen nur teilweise den Ursachen für Wohngebäude allgemein. Hier waren die Errichtung eines neuen Wohngebäudes (58,3 Prozent), die Schaffung von Freiflächen (16,1 Prozent) und infolge einer Nutzungsänderung (12,8 Prozent) die häufigsten Ursachen.

Auffällig ist, dass die Errichtung eines neuen Wohngebäudes in allen hier aufgeführten Beispielen die häufigste Abgangsursache ist. Dies ist für den gesamten Betrachtungszeitraum von 2007 bis 2021 für die Unterarten der Wohngebäude identisch. Die einzige Ausnahme bilden Wohngebäude mit drei oder mehr Wohneinheiten, bei welchen bis 2010 als häufigste Ursachen die Schaffung von Freiflächen angegeben wurde.

In **Bild 3** sind vergleichend die prozentualen Abgangsursachen für Wohngebäude im Jahr 2011, also ein Jahrzehnt zuvor, angegeben. Auch wenn die Errichtung eines neuen Wohngebäudes, wie vorstehend gezeigt, weiterhin die häufigste Ursache ist, hat sich das Verhältnis der gewählten Ursachen zueinander verändert. Besonders auffällig ist die Abnahme in der Ursache „Schaffung von Freiflächen“ von 18,4 Prozent auf 7,0 Prozent sowie die Zunahme in der Ursache „Errichtung eines neuen Wohngebäudes“ von 54,8 Prozent auf 71,5 Prozent.



**Bild 3** Bauabgangsursachen Wohngebäude 2011

Häufigste Abgangsursache der Nichtwohngebäude ist hingegen die Nutzungsänderung.

Die Untersuchung zeigt, dass Gebäude vorrangig zur Errichtung eines neuen Wohngebäudes oder infolge einer Nutzungsänderung abgehen. Aus der statistischen Betrachtung lassen sich jedoch keine vertiefenden Begründungen für die Verteilung der Abgangsursachen ableiten. Ebenso lassen sich nur stark eingeschränkt Zusammenhänge zwischen dem Baujahr, dem Gebäudetyp und der Abgangsursache herstellen. Hierzu ist die Datenlage zu stark zusammengefasst.

Vor dem Hintergrund der in der Einleitung benannten Herausforderung stellt sich die Frage, welche Möglichkeiten es gibt, künftige Bauprojekte anzupassen, um Gebäude länger in der Nutzung zu halten. Die erfassten Abgangsursachen erscheinen im Planungsprozess nicht gleichermaßen beeinflussbar, beispielsweise lässt sich der Flächenbedarf für öffentlichen Verkehrsflächen nicht Jahrzehnte im Voraus präzise abschätzen. Auch außergewöhnliche Ereignisse lassen sich nur schwer beziehungsweise gar nicht vorhersagen. Bauordnungsrechtliche Unzulässigkeiten sind beeinflussbar, es ist jedoch fraglich, ob dies tatsächlich vermeidbar ist. Da diese Ursache mit 0,5 Prozent den geringsten Teil ausmacht, wird sie vernachlässigt.

Keine Rückschlüsse lassen sich aus der Ursache „Sonstiges“ ziehen, da diese Ursache nicht weiter definiert ist und in den anderen Ursachen nicht erfasste Gründe darstellen soll. Mit welcher Motivation diese Ursache ausgewählt wird und welche weiteren Ursachen es gibt wird statistisch nicht weiterführend untersucht.

In 2021 hatten die vorgenannten vier Ursachen einen Anteil von 7,1 Prozent am Gesamtabgang der Wohngebäude. Im selben Jahr hatten 16,0 Prozent der Wohngebäudeabgänge ein Baujahr nach 1978. Die frühzeitigen Abgänge sind also nicht ausschließlich durch nicht beeinflussbare oder nicht definierten Gründe verursacht worden, eine weiterführende Betrachtung also erforderlich ist.

## 5 Expertenbefragung

Für den notwendigen, vertiefenden Erkenntnisgewinn soll eine Primäruntersuchung durchgeführt werden. Unter den verfügbaren Methoden zur Datenerhebung wird die Methodik einer qualitativen, mündlichen Befragung mit einer nicht-zufälligen Auswahl der Befragten als am geeignetsten angesehen. Hier können Informationen generiert



werden, die durch tatsächliche Entscheidungssituationen ein reelles und praxisnahes Abbild darstellen.

## 5.1 Ziele

Die Expertenbefragung baut auf den bereits gewonnenen Erkenntnissen der Sekundäruntersuchung auf. Vorrangiges Ziel ist die Identifikation noch nicht erfasster Ursachen für den Gebäudeabgang sowie die Konkretisierung der durch die statistische Untersuchung gewonnene Erkenntnisse sollen konkretisiert werden.

Die Befragung soll den Status Quo abbilden, indem Ursachen ermittelt werden, die in tatsächlichen Entscheidungsprozessen zum Abgang des Gebäudes geführt haben.

Darüber hinaus soll das Wissen der Experten genutzt werden, um baukonstruktive, technische, nutzungsspezifische oder ökonomische Potenziale zu identifizieren und Strategien zur Vermeidung von frühzeitigem Gebäudeabgang zu entwickeln.

## 5.2 Konzept

In einem ersten Schritt sind relevante Experten zu identifizieren. Es gibt mehrere Expertengruppen, deren Expertise für die Befragungsziele relevant sind. Die Entscheidung für oder gegen den Abgang eines Gebäudes sind direkt mit den Ursachen verbunden. Daraus ist die maßgebliche Expertengruppe abzuleiten, also jene Personen, die diese Entscheidung treffen. Ebenfalls relevant sind jene Projektbeteiligte, die die Grundlagen für eine Entscheidungsfindung für oder gegen einen Gebäudeabgang erarbeiten oder durch ihre Fachkompetenz und Expertise im Umgang mit Bestandsbauten, Bedarfsentwicklungen, städtebaulichem Kontext oder baurechtlichen Rahmenbedingungen zur Erweiterung des bestehenden Erkenntnis-korpus beitragen.

Aufbauend auf den bereits gewonnenen Erkenntnissen wird das Befragungskonzept entwickelt.

Das Befragungskonzept ist in drei Abschnitte gegliedert. Die Konzeption der Fragen folgt dem Prinzip eines standardisierten Interviews.

Einem allgemeinen Einleitungsteil, welcher die Experten einordnet und der die vorhandenen Erfahrungen mit Gebäudeabgängen oder dem Umgang mit Bestand feststellt, folgte ein Fragenblock zur Erfassung des Status Quo. Hierbei soll der Wissensstand durch spezifische Projekterfahrungen konkretisiert und ergänzt werden. Die Ursachen sollen möglichst auf konkrete baukonstruktive, technische, ökonomische, gesellschafts- oder nutzungsspezifische Eigenschaften der Gebäude bezogen werden. Eine Unterscheidung der Expertengruppen bei der Fragenauswahl ist vorgesehen, um die unterschiedlichen Fachkompetenzen und Sichtweisen angemessen zu erfassen.

Abschließend folgt ein Fragenblock, in welchem Zukunftsperspektiven gebildet und aufgezeigt werden sollen. Der Fokus der Fragen liegt nichtmehr auf der Abbildung der

tatsächlichen Ursachen, sondern den Konsequenzen, die daraus gezogen werden können. Insbesondere soll die Expertise der Befragungsgruppen genutzt werden, um Verbesserungsmöglichkeiten in der Planung künftiger Gebäude zu identifizieren und Vermeidungsstrategien gegen einen frühzeitigen Rückbau zu entwickeln.

## 6 Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben adressiert eine signifikante Wissenslücke im Bereich der Immobilienbranche. Die langanhaltende Nutzung von Gebäuden ist nicht nur von Bedeutung, um den ökologischen Herausforderungen der Immobilienbranche gerecht zu werden, sondern wird auch zunehmend entscheidend für zukünftige wirtschaftliche Herausforderungen.

Die bisherigen Ergebnisse dieses Projekts verdeutlichen die dringende Notwendigkeit von Maßnahmen, da trotz rückläufiger Zahlen immer noch über ein Viertel der Gebäudeabgänge bei Gebäuden unter 42 Jahren stattfinden. Die bekannten Ursachen hierfür weisen darauf hin, dass insbesondere Nutzungsänderungen bei Nichtwohngebäuden und der Ersatzneubau bei Wohngebäuden die häufigsten Faktoren sind, die zu dieser Tatsache beitragen. Besonders im Hinblick auf Wohngebäude stellt sich die Frage nach den Potenzialen zur Reduzierung dieser Abgangsraten, eine Fragestellung, die im weiteren Verlauf dieser Forschungsarbeit vertieft untersucht wird.

Dieses Projekt wird gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen aus Mitteln der Zukunft Bau Forschungsförderung unter der Projektnummer 10.08.18.7-22.16.



## 7 Literatur

- [1] Rottke, N., Thomas, M. (Hrsg.): *Immobilienwirtschaftslehre Band 1: Management*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2017.
- [2] BelWertV: *Beleihungswertermittlungsverordnung* vom 12. Mai 2006 (BGBl. I S. 1175), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 4. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1614) geändert worden.
- [3] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): *Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland. Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt*. Bonn: BBSR-Online-Publikation 17/2020, 2020.

- [4] Bauwende e. V.: *Die graue Energie – Der entscheidende Hebel für Klimaschutz beim Bauen*, Onlinepublikation, 2021.
- [5] Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München: *Graue Energie von Einfamilienhäusern in Niedrigstenergie-Gebäudestandard*. München: Forschungsbericht FO 2019-02, 2019.
- [6] Krause, T; Ulke, B. (Hrsg.): *Zahlentafeln für den Baubetrieb*, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016.
- [7] Thüringer Landesamt für Statistik: *Definitionen und Erläuterungen*, URL <https://statistik.thueringen.de/datenbank/defAuswahl.asp?anzahlH4=-1&buchstabe=B>, Zugriff am 08.09.2023.
- [8] Statistisches Bundesamt: *Statistik des Bauabgangs Code 31141*, URL <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1694437276243&code=31141#abreadcrumb>, Zugriff am 08.09.2023.
- [9] Statistisches Bundesamt: *Fachserie / 5 / 1*, Wiesbaden, 2023.
- [10] Statista GmbH: *Abriss von Wohngebäuden in Deutschland nach Gebäudeart in den Jahren 2002 bis 2021*, URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/198175/umfrage/abriss-von-wohngebaeuden-in-deutschland-seit-2002-nach-wohnungsanzahl/#:~:text=Im%20Jahr%202021%20wurden%20974,order%20mehr%20Wohnungen%20befanden%2C%20abgerissen>, Zugriff am 31.03.2023.

# Ökonomische Qualität als Bestandteil eines ganzheitlichen Qualitätsmodells für die Bauplanung und -realisierung

## Economic quality as part of a Holistic Quality Model for construction planning and realization

Phillip Haag\*

\*Universität Stuttgart, Institut für Baubetriebslehre, Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart, phillip.haag@ibl.uni-stuttgart.de

### Kurzfassung

Bei einer weltweit steigenden Bauaktivität mit Neubauten und Renovierungsmaßnahmen für Immobilien und Infrastrukturen, ist es umso wichtiger, langfristig nachhaltig, bürgerfreundlich und wirtschaftlich attraktiv zu bauen. Instrumente zur Folgenabschätzung der Entscheidungen für oder gegen eine bestimmte Bauvariante, insbesondere in frühen Planungsphasen, können hierfür einen entscheidenden Beitrag leisten. Das hier vorgestellte ganzheitliche Qualitätsmodell (HQM) zur Bewertung von Gebäudevarianten bezieht ökonomische, technische, ökologische und soziale Aspekte frühzeitig in die Planungsphase mit ein. Ziel dieses Beitrags ist es, den Prozess zur Entwicklung eines multiparametrischen Modells aufzuzeigen und ein Verständnis für die ökonomischen Qualitätsmerkmale im Bauprozess zu schaffen. Darüber hinaus werden die neuesten Erkenntnisse über den Grad der aktuellen Relevanz der einzelnen wirtschaftlichen Qualitätsmerkmale für die Entscheidungsfindung bestimmter Bauherrentypen (z.B. Industrieunternehmen, öffentliche Hand, ...) vorgestellt. Dies gibt wichtige Einblicke in die vorherrschenden Betrachtungs- und Entscheidungsprozesse in der Baupraxis.

### Abstract

As construction activity continues to grow worldwide, encompassing new building projects and the revitalization of real estate and infrastructure, it becomes increasingly crucial to prioritize sustainability, citizen-friendliness, and long-term economic viability. Utilizing tools for assessing the potential impact of choosing one building variant over another, especially during the initial planning stages, can significantly contribute to achieving these goals. The Holistic Quality Model (HQM) outlined here, designed for evaluating building options, incorporates economic, technical, environmental, and social considerations from the outset. This paper primarily aims to foster an understanding of the economic quality aspects within the construction process and to elucidate the development process of the multi-parametric HQM. Additionally, it presents the most recent findings regarding the current relevance of specific economic quality characteristics for decision-making among various building client groups (e.g., industrial companies, public authorities, etc.), offering valuable insights into prevalent considerations and decision-making practices in the construction industry.

### 1 Einleitung

Insbesondere der Trend der Urbanisierung lässt eine gleichbleibend hohe oder sogar steigende weltweite Bauaktivität mit Neubauten und Sanierungsmaßnahmen von Immobilien und Infrastruktur vermuten [1]. Zusätzlich besteht das Ziel, nachhaltig, bürgerfreundlich und wirtschaftlich attraktiv zu bauen. Aus diesem Grund werden im Rahmen des Exzellenzclusters "Integrative Computational Design and Construction for Architecture" (IntCDC) der Universität Stuttgart neuartige, nachhaltige Bausysteme entwickelt, welche das Potential haben, die Baubranche zukunfts- und wettbewerbsfähig aufzustellen [2].

Begleitet werden diese Forschungen von der interdisziplinären Entwicklung eines ganzheitlichen Qualitätsmodells (Holistic Quality Model, HQM) zur Bewertung von Bauvorhaben, welches die vier Aspekte ökonomische, technische, ökologische und soziale Qualität in sich vereint und somit einen hohen Detaillierungs- und Differenzierungsgrad der Bewertung erreicht [3-5]. Das HQM wird dazu beitragen, fundierte Entscheidungen nach definierten Zielvorstellungen zu ermöglichen, indem es Bauherren, Planer und Designer dazu befähigt, verschiedene Bauvarianten während der Bauwerksplanung und -realisierung hinsichtlich der vier Qualitätsaspekte vergleichend zu analysieren und somit bedarfsgerecht auswählen zu können.

DOI: 10.17185/dupublico/79129



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 Lizenz (CC BY-NC-ND 4.0)

Dies wird langfristig zur Verbesserung der Qualitätssicherung im Bauwesen beitragen [4]. Um im ganzheitlichen Sinn möglichst nachhaltig bauen zu können, bietet die Folgenabschätzung von Entscheidungen für oder gegen eine spezifische Bauvariante, dabei insbesondere in frühen Planungsphasen, einen entscheidenden Hebel [2, 4].

Im Folgenden wird die Entwicklung des ganzheitlichen Qualitätsmodells (HQM) für die Bewertung von Bauvarianten anhand von ökonomischen, technischen, ökologischen und sozialen Aspekten vorgestellt. Besonderer Fokus liegt dabei auf der Darstellung der Teilkomponente zur Bewertung der ökonomischen Qualität, welche zuletzt im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit in das Gesamtmodell integriert wurde. Hierbei soll insbesondere ein Verständnis für ökonomische Qualitätsmerkmale im Bauprozess geschaffen und der Prozess zur Erstellung eines multiparametrischen Modells vermittelt werden.

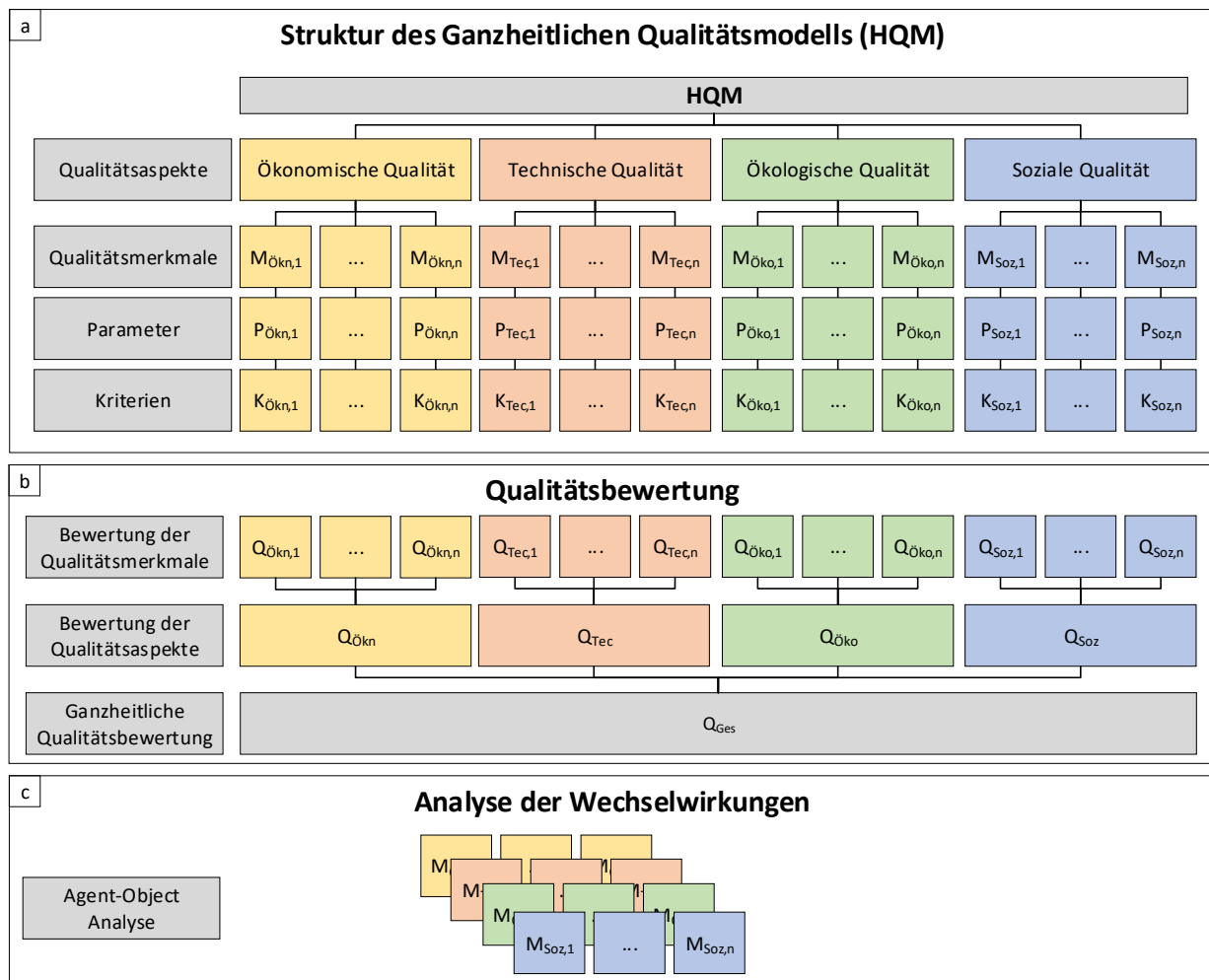
Abgesehen davon sollen neueste Erkenntnisse präsentiert werden, welche ökonomischen Faktoren für bestimmte Bauherrntypen, beispielsweise Industrieunternehmen o-

der die öffentliche Hand, aktuell welche Entscheidungsrelevanz haben. Dies liefert wichtige Einblicke in die vorherrschenden Abwägungs- und Entscheidungsprozesse der Baupraxis.

## 2 Das ganzheitliche Qualitätsmodell

Ein ganzheitliches Modell zur Bewertung der Qualität eines Bauvorhabens ist fähig die vier **Qualitätsaspekte** der ökonomischen, ökologischen, technischen und sozialen Qualität strukturiert und sinnvoll miteinander zu verknüpfen und eine multidimensionale und vergleichende Bewertung zu ermöglichen. Realisiert wird dies durch ein hierarchisch aufgebautes Bewertungssystem, dessen Aufbau und Funktionsweise im Folgenden näher erläutert wird (vgl. **Bild 1**) [3, 4].

Das Modell basiert auf der Tatsache, dass sich jeder Qualitätsaspekt durch verschiedene **Qualitätsmerkmale** beschreiben lässt. So sind für die Bewertung der ökonomischen Qualität eines Bauvorhabens beispielsweise die Merkmale „Rendite“ oder „Lebenszykluskosten“ maßgeblich.



**Bild 1** Schematische Darstellung des hierarchischen Aufbaus und der Struktur des ganzheitlichen Qualitätsmodells (a), der Möglichkeiten zur Qualitätsbewertung (b) und der Analyse der Wechselwirkungen (c) [3, 4]

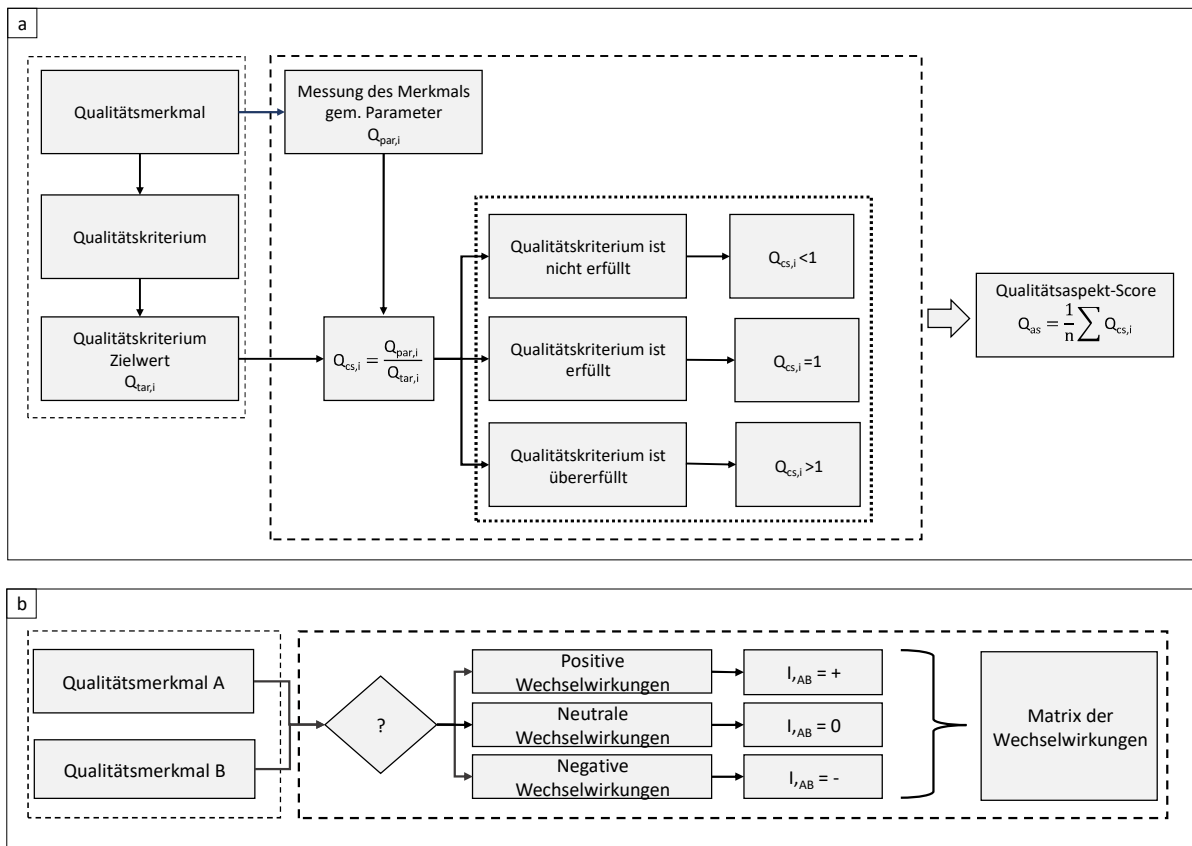
Ein jedes solches Merkmal kann wiederum von verschiedenen, messbaren **Qualitätsparametern** als quantitative Maße konkretisiert und beschrieben werden. Die Quantifizierung der Parameter erfolgt dabei über Messungen, Berechnungen oder Fragebögen.

Um eine Bewertung und letztlich Einordnung der Qualität vorzunehmen, muss für jeden Qualitätsparameter zuletzt ein **Qualitätskriterium** definiert werden, welches den Zielwert bzw. einen kritischen Wert für eine hohe Qualität festlegt und so die Qualitätsbeurteilung ermöglicht. Die Zielkriterien können dabei indirekt aus gesellschaftlichen Anforderungen, wie beispielsweise der Forderung nach CO<sub>2</sub>-Neutralität, abgeleitet oder direkt aus den Ansprüchen von Planern und Entscheidungsfindern vorgegeben werden.

Für die **Qualitätsbewertung** (vgl. **Bild 2, a**) wird der tatsächlich gemessene oder errechnete Wert des Qualitätsparameters ( $Q_{par,i}$ ) mit dem definierten Qualitätskriterium (Qualitätskriterium Zielwert  $Q_{tar,i}$ ) verglichen und der zugehörige Erfüllungsgrad als Qualitätsmerkmals-Score (Quality characteristic score  $Q_{cs,i}$ ) mit einer möglichen Punktzahl zwischen 0 und 2 erfasst. Eine Punktzahl <1 bedeutet dabei, dass die Qualitätsanforderungen gemäß den festgelegten Kriterien nicht erfüllt werden, während eine

Punktzahl von 1 eine ausreichende Qualität bestätigt. Mit einer Punktzahl >1 werden die Anforderungen übererfüllt. Im Falle der Lebenszykluskosten kann beispielsweise ein bestimmter Kostenwert als Zielwert ausreichender Qualität, respektive ein Punktescore von 1, festgelegt werden. Das punktebasierte Bewertungssystem ermöglicht dabei, Werte verschiedener Parameter mit unterschiedlichen Messgrößen oder -skalen zu normieren und dadurch vergleichbar zu machen, sodass sich diese in die Qualitätsbewertung durch das HQM als übergeordnetes System integrieren lassen.

Um die Qualität ganzheitlich und vergleichbar zu bewerten, werden die Punkte abschließend verrechnet. Der Notenwert eines einzelnen Qualitätsmerkmals ergibt sich hierfür aus dem Mittelwert der Gesamtpunktzahl aller Einzelparameterbestimmungen. In selber Weise ergibt sich der Notenwert eines jeden Qualitätsaspekts (Quality aspect score,  $Q_{as}$ ) aus dem Mittelwert der Gesamtpunktzahl aller zugrunde gelegten Qualitätsmerkmale. Die Note der **Gesamtqualität** und somit das Ergebnis der ganzheitlichen Bewertung ergibt sich schlussendlich aus der Mittelwertbildung der Notenwerte der vier Qualitätsaspekte. Somit erfolgt die Beurteilung von Bauvarianten über die Verortung des Scores innerhalb der Skala  $0 \leq Q_{cs} \leq 2$ .



**Bild 2** Schematische Darstellung der Berechnung des Qualitäts-Scores zur Qualitätsbewertung (a) und der Analyse der Wechselwirkungen (b) [4]

Zusätzlich zur ganzheitlichen Qualitätsbewertung können mithilfe des HQM auch die **Wechselwirkungen** der einzelnen Qualitätsmerkmale der unterschiedlichen Qualitätsaspekte untereinander analysiert werden. Wie in **Bild 2, b** dargestellt, können für jede Merkmalskombination strukturiert die zugehörige Wechselwirkung bestimmt werden. Zwei Qualitätsmerkmale A und B können sich entweder positiv (+) oder negativ (-) beeinflussen oder zueinander neutral verhalten (0), das heißt sich nicht beeinflussen.

**Positive Wechselwirkungen** treten dabei immer dann auf, wenn eine Verbesserung des Qualitätsmerkmals A zu einer Verbesserung des Qualitätsmerkmals B im Hinblick auf das Zielkriterium führt. So kann zum Beispiel eine technisch hochwertige Gebäudeausrüstung, als technisches Merkmal, die Energieeffizienz des Gebäudes verbessern und damit dessen CO<sub>2</sub>-Bilanz, als ökologisches Merkmal, verringern, wodurch die Anforderungen des Zielkriteriums erreicht werden können. **Negative Wechselwirkungen** treten hingegen auf, wenn die Verbesserung eines Qualitätsmerkmals C zu einer Verschlechterung eines anderen Qualitätsmerkmals D führt. So kann sich zum Beispiel die Verbesserung der Wärmedämmung eines Gebäudes, als technisches Merkmal, negativ auf die Baukosten, als ökonomisches Merkmal, auswirken. Mithilfe einer Matrixdarstellung lassen die Wechselwirkungen gegenüberstellen (vgl. **Bild 3, [4]**).

Agent		QA1		QA2		QA3		QA4	
		QC1	QC2	QC3	QC4	QC5	QC6	QC7	QC8
Object		QC1	QC2	QC3	QC4	QC5	QC6	QC7	QC8
QA1	QC1		0	-	-	+	+	+	+
	QC2	+		-	0	0	-	-	-
QA2	QC3	-	+		-	0	+	0	+
	QC4	+	0	+		-	0	+	0
QA3	QC5	+	+	-	-		-	+	+
	QC6	-	0	0	-	+		0	0
QA4	QC7	+	+	-	0	+	+		0
	QC8	-	0	-	+	0	+	+	

**Bild 3** Schematische Darstellung der Agent-Object-basierten Matrix der Wechselwirkungen

Wichtig hierbei ist stets, dass Wechselbeziehungen zwischen Qualitätsmerkmalen als **Agent-Object-Beziehung** konzeptualisiert werden, da ein Qualitätsmerkmal theoretisch sowohl von allen anderen Qualitätsmerkmalen beeinflusst werden als auch selbst alle anderen Qualitätsmerkmale beeinflussen kann. Der „Agent“ ist dabei das beeinflussende, das „Object“ das beeinflusste Merkmal.

Dieser Ansatz ermöglicht es den Entscheidungsträgern ein umfassendes Verständnis dafür zu erlangen, wie sich bestimmte Maßnahmen oder Veränderungen in der Planung und Realisierung von Baumaßnahmen auf verschiedene Qualitätsaspekte auswirken können. Durch die Berücksichtigung der Wechselwirkungen können Entscheidungs-

träger die potenziellen Folgen und Ergebnisse vorhersehen, die mit bestimmten Maßnahmen oder Entscheidungen verbunden sind.

### 3 Methodisches Vorgehen

Für die Erstellung der anschlussfähigen Teilkomponente des HQM zur Bewertung der ökonomischen Qualität, auf welche in diesem Beitrag fokussiert eingegangen wird, wurde zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt, die sowohl wissenschaftliche Literatur als auch graue Literatur, beispielsweise zu Gebäudezertifizierungssystemen, umfasste, um ökonomische Qualitätsmerkmale herauszuarbeiten. Diese wurden im Anschluss in einem iterativen Prozess jeweils mit aussagekräftigen Qualitätsparametern unterlegt.

Parallel dazu wurde die aktuelle Gewichtigkeit (Relevanz, Priorisierung, qualitative Einordnung) der einzelnen ökonomischen Qualitätsmerkmale in Entscheidungsfindungsprozessen der Baupraxis näher untersucht. Hierfür wurden systematisierende, leitfadengestützte Experteninterviews [6] mit fünf verschiedenen Typen von Bauherren (gewerbliche Unternehmen mit eigener Bauverantwortung, institutionelle Investoren, Projektentwickler sowie die Öffentlichen Hand einerseits der Kommunen, andererseits des Landes/Bundes in Anlehnung an Kochdörfer et al. [7]) geführt (n=25).

### 4 Das ökonomische Teilmodell

Obwohl beispielsweise durch das Pariser Klimaabkommen Aspekte der ökologischen Nachhaltigkeit verstärkt in den Vordergrund treten [8], bleibt die wirtschaftliche Qualität oftmals der ausschlaggebende Faktor in Entscheidungsprozessen für die Konzeption und Umsetzung von Bauvorhaben [8]. Auch wenn auf individueller, projektbezogener Ebene mitunter höhere Projektkosten als Kompromiss für Design, Image oder Marketing in Kauf genommen werden [9], schlägt die Bewertung der ökonomischen Qualität weiterhin grundsätzlich die Brücke zwischen theoretischen Konzepten und praktischer Umsetzung. Eine hohe wirtschaftliche Qualität ist daher eine wichtige Voraussetzung für die breite Akzeptanz von Bausystemen. Insofern dient gerade das ökonomische Teilmodell des HQM maßgeblich dazu, die Umsetzbarkeit und Erfolgchancen innovativer, neuer Gebäudesysteme, wie die der im Exzellenzclusters IntCDC entwickelten Holzbausysteme, oder anderer Optimierungsansätze auf der Ebene des Marktes potentiell belegen und deren Aussicht auf Erfolg überprüfen oder gar steigern zu können [4].

Ebenso wie die anderen Qualitätsaspekte sind die wirtschaftlichen Überlegungen nicht eindimensional. Auch die wirtschaftliche Qualität kann aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden, z.B. aus der betriebswirt-

schaftlichen Sicht, die darauf abzielt, bestimmte innovative und nachhaltige Bausysteme auf den Markt zu bringen oder ein Bauprojekt kostengünstig abzuwickeln [10], aber auch aus der volkswirtschaftlichen Sicht, in der beispielsweise die Stärkung regionaler Wertschöpfungsketten berücksichtigt wird [11].

Für das ökonomische Qualitätsmodell konnten drei thematische Cluster mit acht ökonomischen Qualitätsmerkmalen (vgl. **Tabelle 1**) identifiziert werden, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

**Tabelle 1** Übersicht ökonomischer Qualitätsmerkmale

Abkürzung	Ökonomisches Qualitätsmerkmal
M1	Kosten für Bauplanung und -realisierung
M2	Zeit für Bauplanung und -realisierung
M3	Lebenszykluskosten
M4	Image / Marktfähigkeit
M5	Rendite
M6	Umnutzungspotential
M7	Ökobilanz (CO <sub>2</sub> -Kosten)
M8	Regionalität des Baumaterials und der Wertschöpfungskette

Insbesondere für den Vergleich verschiedener Bauvarianten für Bauprojekte sind die Kosten (M1) und die Zeit (M2) für Bauplanung und -realisierung von großer Bedeutung. Die Produktionskosten eines Gebäudes sind dabei auch ein kritischer Faktor, der sich direkt und unmittelbar auf die finanzielle Tragfähigkeit des Projekts und auf die Rendite der Beteiligten auswirkt [12].

Für die langfristige ökonomische Machbarkeit sind die Lebenszykluskosten (M3), das Image beziehungsweise die Marktfähigkeit (M4), die Rendite (M5) und das Umnutzungspotential (M6) maßgebliche Faktoren [13,14]. Die Folgekostenentwicklungen über den gesamten Lebenszyklus zu betrachten, bietet gerade während früher Planungsphasen ein hohes Optimierungspotential von Entwurfs- und Ausführungsvarianten und ist entscheidend für die Betrachtung der Nachhaltigkeit. Vergleicht man z.B. die internationalen Gebäudezertifizierungssysteme DGNB, BREEAM und LEED, die auch in der Baupraxis adaptiert wurden, so heben alle drei vor allem die Lebenszykluskosten (Life Cycle Costs, LCC) als wesentlichen ökonomischen Qualitätsmerkmale für eine langfristige Wirtschaftlichkeit hervor [15-17].

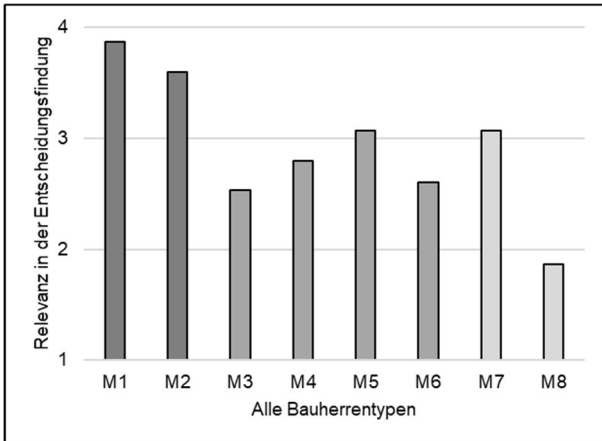
Zu guter Letzt tragen mit der Ökobilanz (M7) und Regionalität des Baumaterials und der Wertschöpfungskette (M8) umwelt- und sozioökonomische Merkmale zur Bewertung der ökonomischen Qualität bei. Gerade die mit dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einhergehenden CO<sub>2</sub>-Kosten, die sich aus der Monetarisierung der quantifizierten Kohlenstoffemissionen ergeben, sind eine entscheidende Determinante für die Umweltauswirkungen von Bauprojekten.

Durch die Senkung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks respektive der CO<sub>2</sub>-Kosten eines Projekts können die Beteiligten sowohl wirtschaftliche Qualität als auch ökologische Qualität steigern [18]. Zudem ist für die ökonomische Bewertung der Einfluss eines Bauvorhabens auf die regionale Wertschöpfung einzubeziehen, der einerseits durch das Erbauen selbst, aber auch durch die Nutzung der Baumaßnahme entstehen kann. Lokale Wertschöpfung kann dabei durch die Beschäftigung lokaler Arbeitskräfte, den Kauf lokaler Materialien und Dienstleistungen sowie die Generierung lokaler Steuern und Einnahmen entstehen. Durch die Förderung der lokalen Wertschöpfung kann die Bauindustrie zur Entwicklung der lokalen Wirtschaft beitragen, Arbeitsplätze schaffen und das Wirtschaftswachstum steigern [19].

#### 4.1 Aktuelle und zukünftige Relevanz ökonomischer Qualitätsmerkmale in der Baupraxis

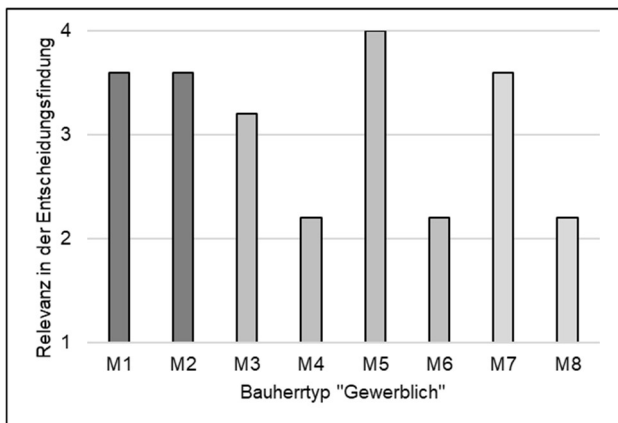
Um Einblicke in die vorherrschenden Abwägungs- und Entscheidungsprozesse der Baupraxis zu erhalten, wurden leitfadengestützte Experteninterviews mit verschiedenen Bauherrntypen (n=25) durchgeführt (vgl. Kapitel 3, Methodisches Vorgehen). Ziel war es, zu eruieren, welche ökonomischen Merkmale für bestimmte Bauherrntypen aktuell welche Entscheidungsrelevanz haben und wie diese für die Zukunft beurteilt wird. Die Relevanz einzelner Merkmale in der Entscheidungsfindung wurde dabei über eine vierstufige Likert-Skala bewertet, wobei eine Bewertung von „1“ bedeutet, dass ein Merkmal „nie“ für die Entscheidungsfindung des Bauherrn relevant ist. Bei einer Bewertung von „4“ spielen Merkmale in der Entscheidungsfindung „immer“ eine Rolle. Mit „2“ und „3“ werden Relevanzen von „selten“ und „oft“ indiziert.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse über alle Bauherrntypen hinweg (vgl. **Bild 4**) wurden die Bauzeit (M1) und die Baukosten (M2) erwartungsgemäß als entscheidungsrelevanteste Merkmale in Planung und Umsetzung eines Bauvorhabens eingestuft. Ebenfalls oft, jedoch weniger prioritär, werden die Rendite (M5) und die Ökobilanz (M7) aktiv in die Entscheidung einbezogen. Die meisten Merkmale, die die langfristige ökonomische Machbarkeit beziffern, namentlich die Lebenszykluskosten (M3), Marktfähigkeit (M4) und Umnutzungspotential (M6), spielen im Verhältnis eine nachgeordnete Rolle (Bereich „selten“ bis „oft“). Die Regionalität von Baumaterial und der Wertschöpfungskette (M8) findet generell eher selten Berücksichtigung in der Entscheidungsfindung.

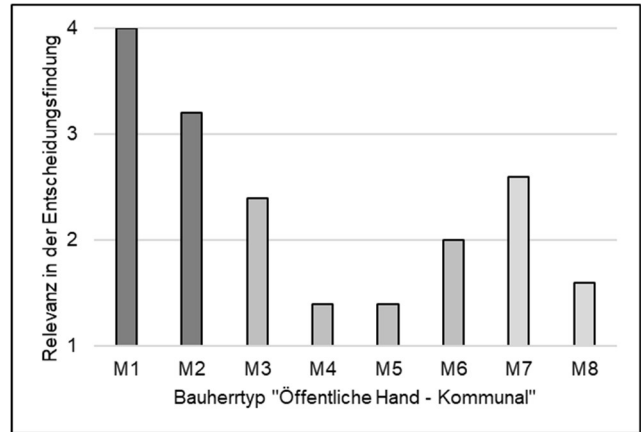


**Bild 4** Auswertung der Experteninterviews hinsichtlich der aktuellen Relevanz der ökonomischen Qualitätsmerkmale (M1-M7)

Neben der gemittelten Betrachtung, fallen mit Blick auf die Bauherren-spezifischen Auswertungen mitunter Spezifikationen auf. So ist beispielsweise die Rendite (M5) für einen gewerblichen Bauherren die maßgebliche Entscheidungsdeterminante (vgl. **Bild 5**), noch vor den Baukosten (M1) und der Bauzeit (M2). Für kommunale Bauherren hingegen (vgl. **Bild 6**) bleiben die Baukosten (M1), gefolgt von der Bauzeit (M2), die aktuell entscheidenden Merkmale. Eine Rendite (M5) wird nahezu nicht berücksichtigt. Auffällig ist, dass von gewerblichen Bauherren die Ökobilanz (M7) gefolgt von den Lebenszykluskosten (M3) auf ähnlicher Relevanzebene wie Baukosten und Bauzeit rangieren. Kommunen berücksichtigen diese beiden Merkmale ebenfalls zu einem gewissen, jedoch deutlich geringeren Grad. Insgesamt scheinen für gewerbliche Bauherren mehr Kriterien aktiv in die Entscheidungsfindung einbezogen zu werden, als bei kommunalen Bauherren.

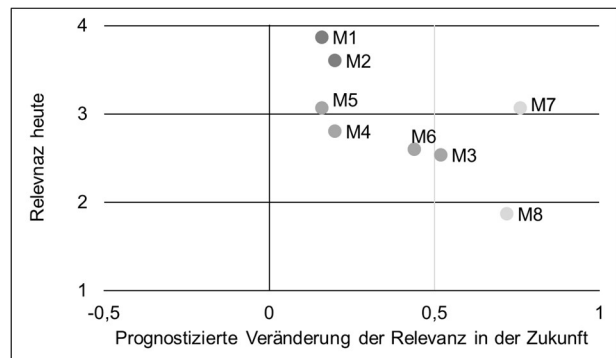


**Bild 5** Auswertung der Experteninterviews des Bauherrntyps „Gewerblich“ hinsichtlich der aktuellen Relevanz der ökonomischen Qualitätsmerkmale (M1-M7)



**Bild 6** Auswertung der Experteninterviews des Bauherrntyps „Öffentliche Hand - Kommunal“ hinsichtlich der aktuellen Relevanz der ökonomischen Qualitätsmerkmale (M1-M7)

Einig waren sich die Bauherrntypen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der ökonomischen Qualitätsmerkmale (vgl. **Bild 7**). Im Rahmen der Experteninterviews wurde kein ökonomisches Qualitätsmerkmal mit abnehmender Relevanz bewertet. Im Gegenteil werden gemäß 75% der Bauherren insbesondere die Ökobilanz und die Regionalität von Baumaterial und Wertschöpfungskette in Zukunft stärker in die Entscheidungsfindung einbezogen werden. Zudem werden auch die Lebenszykluskosten von mehr als der Hälfte aller Bauherren mit zunehmender Relevanz bewertet. Nahezu unverändert wichtig werden die Baukosten und Bauzeit bleiben, die weiterhin ein entscheidendes Merkmal sein werden. Selbiges gilt für Bewertung der Rendite.



**Bild 7** Auswertung der Experteninterviews hinsichtlich der zukünftigen Relevanz der ökonomischen Qualitätsmerkmale (M1-M7), die jeweils an Relevanz zunehmen (1) oder Abnehmen (-1) können

## 5 Kurzdiskussion, Fazit und Ausblick

Im Rahmen der Forschungsarbeit konnte das ökonomische Teilmodell erfolgreich erstellt und in das HQM eingegliedert werden. Insbesondere die Beurteilung der ökonomischen Merkmale durch die Baupraxis, verdeutlicht, dass Entscheidungsfindungsprozesse zukünftig komplexer und



auf Basis einer Vielzahl von Merkmalen getroffen werden. Die Experten schätzen zudem, dass insbesondere die Ökobilanzierung und die regionale Wertschöpfung in Zukunft stärker in Entscheidungsfindungsprozesse hinsichtlich der ökonomischen Qualität verstärkt einbezogen werden.

Nur eine ganzheitliche Bewertung unter Einbezug aller ökonomischer, technischer, ökologischer und sozialer Aspekte und deren Wechselwirkungen wird es erlauben, langfristig nachhaltige Lösungen abschätzen und erfolgreich innovative Bausysteme für die breite Anwendung anbieten zu können. Dabei bietet insbesondere die Verortung der ökonomischen Qualität in das HQM eine Perspektive zur fundierten Legitimation negativer ökonomischer Anpassungen, wie z.B. höherer Kosten oder längerer Produktionszeiten, durch eine transparentere Darstellung der potentiell positiven Auswirkungen auf ökologische, technische und soziale Aspekte bzw. die Einhaltung oder Überschreitung der ökologisch, technisch und sozial definierten Ziele [20]. Eine Anpassung der Entscheidungspraxis könnte in dieser Hinsicht insbesondere für öffentliche Bauherren eine interessante Option darstellen.

Gleichzeitig ist es wichtig zu bedenken, dass für unterschiedliche Bauherrentypen, wie auch Bauvorhaben, unterschiedliche Kriterien für die Entscheidungsfindung herangezogen werden und werden können und dass Zieldefinitionen stets an Zielvorstellungen geknüpft sind. Das HQM kann hierfür bewusst flexibel über die Definition der Qualitätskriterien angepasst werden. Letztlich kann die theoretische Bewertung von Bauvarianten mit beispielsweise höherer Ökobilanz nur als Impuls an den Entscheidungsträger dienen. Diese Transparenz wird jedoch entscheidend sein um langfristig die Entscheidungspraxis in einen gesamtgesellschaftlichen Kontext auszudehnen. Dabei ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausgeschlossen, dass sich durch die weitere wissenschaftliche Erforschung der Wechselwirkungen, langfristige Kostenvorteile über den gesamten Lebenszyklus aus der Berücksichtigung technischer, ökologischer und sozialer Aspekte abzeichnen könnten.

Weitere Studien zur Quantifizierung einzelner Merkmale und Parameter, wie beispielsweise der regionalökonomischen Faktoren, und der Wechselwirkungen werden notwendig sein, um das HQM weiter zu präzisieren und zu validieren. Dabei sind die Möglichkeiten und die Genauigkeit der Messungen der Merkmale direkt proportional zur Gesamtbewertung durch das HQM. Mit der Untersuchung regionaler Wertschöpfung ergibt sich schon jetzt ein neues Feld im baubetrieblichen Kontext, welches es weiterhin wissenschaftlich zu untersuchen gilt. Insgesamt wird aber eine vertrauensvolle inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit für die zielführende Weiterentwicklung des HQM und einer transparenten Nachhaltigkeitsbewertung im Bauwesen entscheidend sein [2].

## Literatur

- [1] United Nations: World Urbanization Prospects: The 2018 Revision: Key Facts. (2018), Internetquelle: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf> (letzter Zugriff am 05.06.2023)
- [2] Knippers, J.; Kropp, C.; Menges, A.; Sawodny, O.; Weiskopf, D.: Integrative computational design and construction: Rethinking architecture digitally. *Civil Engineering Design* (2021), 3:123–135, <https://doi.org/10.1002/cend.202100027>
- [3] Zhang, L.; Balangé, L.; Braun, K.; Di Bari, R.; Horn, R.; Hos, D.; Kropp, C.; Leistner, P.; Schwieger, V.: Quality as Driver for Sustainable Construction—Holistic Quality Model and Assessment. *Sustainability* (2020), 12, 7847, <https://doi.org/10.3390/su12197847>
- [4] Frost, D.; Gericke, O.; Di Bari, R.; Balangé, L.; Zhang, L.; Blagojevic, B.; Nigl, D.; Haag, P.; Blandini, L.; Jünger, H.C.; et al.: Holistic Quality Model and Assessment—Supporting Decision-Making towards Sustainable Construction Using the Design and Production of Graded Concrete Components as an Example. *Sustainability* (2022), 14, <https://doi.org/10.3390/su141811269>
- [5] Balangé, L.; Zhang, L.; Schwieger, V.: First Steps Towards the Technical Quality Concept for Integrative Computational Design and Construction, in: A. Kopačák et al. (Eds.): *Contributions to International Conferences on Engineering Surveying*. (2021), S. 118–127, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7_10)
- [6] Kochendörfer, B.; Liebchen, J. H.; Viering, M. G.: *Bau-Projekt-Management: Grundlagen und Vorgehensweisen*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 6. Auflage, 2021, ISBN 978-3-658-34079-7
- [7] Bogner, A.; Beate, L.; Menz, W.: *Experteninterviews: Theorien, Methoden, Anwendungsfelder*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 3. Auflage, 2009, ISBN 978-3-531-16259-1
- [8] European Commission. *Communication of the European Commission: The European Green Deal.: COM (2019) 640 Final*; European Commission: Brussels, Belgium
- [9] Chen, Y.; Okudan, G.; Riley, D.: Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings, *Automation in Construction*. (2010), 19, S. 235–244, doi:10.1016/j.autcon.2009.10.004
- [10] García de Soto, B.; Agustí-Juan, I.; Hunhevicz, J.; Joss, S.; Graser, K.; Habert, G.; Adey, B.: Productivity of digital fabrication in construction: Cost and time analysis of a robotically built wall, *Automation in*

Construction. (2018), 92, S. 297-311,  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.004>

- [11] Meglin R., Kytzia S., Habert G., Uncertainty, variability, price changes and their implications on a regional building materials industry: The case of Swiss canton Argovia. (2022), *Journal of Cleaner Production*, 330, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129944>.
- [12] BWI-Bau: Ökonomie des Bauen Teil 1: Volkswirtschaftliche Grundlagen – Der zweipolige Baumarkt, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2. Auflage, 2022, ISBN 978-3-658-37820-2
- [13] Atia, N.; Bassily, M.; Elamer, A.: Do life-cycle costing and assessment integration support decision-making towards sustainable development? (2020) *Journal of Cleaner Production*, 267, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122056>.
- [14] Antonov, Y.I.; Heiselberg, P.; Flourentzou, F.; Pomirowski, M.Z.: Methodology for Evaluation and Development of Refurbishment Scenarios for Multi-Story Apartment Buildings, Applied to Two Buildings in Denmark and Switzerland. (2020), *Buildings*, 10, <https://doi.org/10.3390/buildings10060102>
- [15] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen: DGNB Kriterienkatalog Gebäude Neubau, Version 2023, 2. Auflage, Internetquelle: <https://www.dgnb.de/de/zertifizierung/gebäude/neubau> (letzter Zugriff am 01.09.2023)
- [16] TÜV SÜD: BREEAM DE Neubau, Version 2018, Internetquelle: [https://breeam.de/wp-content/uploads/SD-BNBDE-01\\_BREEAM-DE-Neubau-2018-Technisches-Handbuch\\_v1.1.pdf](https://breeam.de/wp-content/uploads/SD-BNBDE-01_BREEAM-DE-Neubau-2018-Technisches-Handbuch_v1.1.pdf) (letzter Zugriff am 01.09.2023)
- [17] U.S. Green Building Council: Leed Certification Credit Attributes, 2023, Internetquelle: <https://www.usgbc.org/resources/credit-attributes-bdc> (letzter Zugriff am 01.09.2023)
- [18] Schneider-Marín, P., Lang, W.: Environmental costs of buildings: monetary valuation of ecological indicators for the building industry. *Int J Life Cycle Assess* (2020), 25, S. 1637–1659, <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01784-y>
- [19] Scouse A.; Kelley, S.; Liang, S.; Bergman, R.: Regional and net economic impacts of high-rise mass timber construction in Oregon. (2020), *Sustainable Cities and Society*, 61, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102154>.
- [20] bauforumstahl e.V.: Glossar, (2020), Internetquelle: <https://bauforumstahl.de/wissen/nachhaltigkeit/nachhaltigkeit-glossar/oekonomische-qualitaet>, letzter Zugriff: 01.09.2023

# Immersive Besprechungen im Lebenszyklus von Gebäuden auf Basis von digitalen BIM-Modellen

## Immersive meetings in the life cycle of buildings based on digital BIM-models

Jan-Iwo Jäkel, Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen, RWTH Aachen University, 52070 Aachen, jaekel@icom.rwth-aachen.de

Christoph Jahnke, customQuake GmbH, 20457 Hamburg, c.jahnke@customquake.com

Markus Meyer Westphal., customQuake GmbH, 20457 Hamburg, mmw@customquake.com

### Kurzfassung

Das Planen, Bauen und Betreiben eines Gebäudes involviert viele verschiedene Projektbeteiligte entlang des Lebenszyklus. Die Basis der Kommunikation und Kollaboration zur Entscheidungsfindung bilden zyklische Projektbesprechungen. Diese sind ortsgebunden und laufen zumeist unter Verwendung analoger Pläne und Dokumente ab. Für eine Optimierung, weitere Digitalisierung sowie Auflösung der Ortsabhängigkeit am Bauwerk können immersive Technologien in Verbindung mit digitalen BIM-Modellen von Gebäuden eingesetzt werden. Dieser Artikel stellt einen Ansatz für eine ortsunabhängige Baubesprechung unter Einbindung und Möglichkeit der Interaktion aller Akteure dar. Dabei wird die reale mit der digitalen Welt verknüpft. Als zentraler Punkt und Datenbasis des Geschehens dienen digitale Gebäudemodelle im Sinne der Methode Building Information Modeling (BIM). Außerdem werden immersive Technologien, wie erweiterte Realität (AR) und virtuelle Realität (VR), während der Besprechung als Ausgabe- und Interaktionstechnologien verwendet.

Im ersten Abschnitt des Artikels wird der Status Quo auf Basis einer Literaturanalyse erarbeitet. Darauf folgt die Vorstellung des theoretischen Konzepts unter Entwicklung eines Systemmodells. Im nächsten Schritt wird das Konzept anhand eines realen Demonstrator umgesetzt und validiert. Abschließend werden Weiterentwicklungsmöglichkeiten sowie noch bestehende Limitationen abgeleitet. Das Ergebnis des Artikels zeigt die Machbarkeit von ortsunabhängigen Baubesprechungen im Hochbau durch die Zusammenführung von BIM und immersiven Technologien

### Abstract

The design, construction and operation of a building involves many different project participants along the life cycle. Periodic project meetings form the basis of communication and collaboration for decision-making. Such meetings are location-bound and mostly take place using analog plans and documents. For optimization, further digitization and resolution of the location dependency on the building, immersive technologies can be used in conjunction with digital BIM models. This article presents an approach for a location-independent construction meeting with the integration and possibility of interaction of all stakeholders. The real world is linked with the digital world. Digital building models in the context of the Building Information Modeling (BIM) method serve as the central component and data database of the approach. In addition, immersive technologies, such as augmented reality (AR) and virtual reality (VR), are used as output and interaction technologies during the meeting.

In the first section of the paper, the status quo is elaborated based on a literature review. This is followed by the presentation of the theoretical concept under development of a system model. In the next step, the concept is implemented and validated using a real demonstrator.

Finally, further development possibilities as well as still existing limitations are derived. The result of the article shows the feasibility of location-independent construction meetings in building construction by combining BIM and immersive technologies.

DOI: 10.17185/dupublico/79108



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 International Lizenz (CC BY-NC 4.0)

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren haben sich die Technologien der virtuellen Realität (VR), der erweiterten Realität (AR) und der gemischten Realität (XR) von einer Nischentechnologie zu einer akzeptierten Technologie für Visualisierungs- und Interaktionsmöglichkeiten entwickelt. Die möglichen Anwendungen erstrecken sich heute auf viele verschiedene Branchen. So wird die Technologie beispielsweise im Bildungswesen, in der Informations- und Kommunikationsbranche, im Gesundheitswesen oder in der Fertigungs- und Baubranche eingesetzt [1]. Mit XR lassen sich komplexe Strukturen und Prozesse in immersiven Umgebungen visualisieren, testen und optimieren [2–4]. Dadurch wird die grundsätzliche Nachvollziehbarkeit der Zusammenhänge erhöht und im gleichen Zuge werden die damit verbundenen Kosten reduziert [2, 5–7]. Herausforderungen bei der Integration immersiver Technologien bestehen dagegen auf der prozessualen und informationstechnischen Ebene [8–10]. Damit eine Kommunikation als natürlich und einfach wahrgenommen werden kann, bedarf es folglich der Verwendung von Elementen einer natürlichen Konversation im Interaktionsraum. Hierfür bieten spezielle Geräte (AR-Brille / VR-Headset) verschiedene Interaktionsmöglichkeiten [11–14], wie z.B. Markieren, Sprechen, Kommentieren, Hervorheben, etc. [15–17].

In den letzten Jahren wird die digitale Methode Building Information Modelling (BIM) immer mehr im Lebenszyklus von Gebäuden verwendet [18, 19]. Dabei dient ein digitales Gebäudemodell als zentrale Datenbasis für die gemeinsame Kollaboration aller Projektbeteiligten in der Planung, Ausführung sowie Betrieb und Rückbau [19]. So etablieren sich mit der Nutzung von BIM auch neue Rollen in der Projektorganisation [20]. Zugleich kann das digitale Modell in verschiedenen Anwendungsfällen und Detaillierungsgraden verwendet werden [19, 21, 22]. Auch Projektbesprechungen oder Qualitätskontrollen werden auf Basis von digitalen Gebäudemodellen abgewickelt [23–25]. Dennoch finden diese Besprechungen entweder vor Ort oder komplett digital statt. Eine Verknüpfung der beiden Möglichkeiten – reale und digitale Welt - für ortsunabhängige Besprechungen wird bislang noch nicht praktiziert.

Diese Forschungslücke schließt der Forschungsartikel mit dem Ziel der Darstellung eines holistischen Ansatzes einer immersiven Baubesprechungen. Diese ist ortsunabhängig unter der Fusion der realen und digitalen Welt. Dabei werden digitale Bauwerksmodelle als Datenbasis und immersive Technologien als Ausgabe- und Interaktionstechnik (VR/AR/Desktop) verwendet.

## 2 Methodisches Vorgehen

In diesem Artikel wird der erste Ansatz einer immersiven Besprechung auf Basis digitaler Bauwerksmodelle von Gebäuden durchgeführt. Der Artikel gliedert sich in drei Teile: (i) Stand der Technik, (ii) Entwicklung des Konzepts und (iii) Implementierung. Im ersten Teil wird der Status

Quo des Einsatzes von VR, AR und XR auf der Grundlage einer Literaturrecherche erarbeitet. In den beiden Unterkapiteln wird zum einen der allgemeine Einsatz von immersiven Technologien betrachtet. Zum anderen wird die Verwendung der Technologien in der Bauindustrie, speziell der Einsatz im Hochbau, analysiert. Nach der Identifikation der Forschungslücke im Status Quo wird im zweiten Teil das Konzept entwickelt. Der Fokus liegt in diesem Fall auf der Etablierung einer Mensch-Technik-Interaktion für ortsunabhängige Besprechungen. Die unterstützenden Technologien sind dabei BIM, AR, und VR.

Mit der Ortsunabhängigkeit geht die Verknüpfung der realen Welt mit der digitalen Welt einher. Dabei werden in beiden Welten unterschiedliche Handlungen der Nutzer durchgeführt, die für alle Projektbeteiligten vernommen werden können. Als Basis für die Besprechung werden digitale, dreidimensionale Modelle der Gebäude, sogenannte BIM-Modelle, verwendet. Das Konzept in diesem Artikel konzentriert sich auf Wohn- und Bürogebäude im Hochbau. Es werden die einzelnen prozessualen, technischen und informationstechnischen Anforderungen beschrieben und in einem Systemmodell visualisiert. Eine Implementierung und erste Validierung in Form eines „Proof-of-Concept (PoC)“ erfolgt an einem realen Demonstrator. So wird die grundsätzliche Machbarkeit einer immersiven Besprechung im Hochbau erprobt und bestätigt. Am Ende des Artikels wird eine kritische Bewertung der Ergebnisse vorgenommen und ein Ausblick auf die daraus resultierenden Forschungsfragen gegeben.

## 3 Stand der Technik

### 3.1 Allgemeines zu immersiven Besprechungen

Mit der Weiterentwicklung der immersiven Technologien werden Meetings zunehmend virtualisiert unter einer Fusion der realen und virtuellen Welt [26]. Dies erfordert den Einsatz von moderner Computertechnologie sowie spezieller Ausgabegeräte, wie z.B. AR-Brillen (z.B. Microsoft HoloLens) [27] oder VR-Headsets (z.B. Meta Quest 2) [28]. Darüber hinaus dient eine spezielle kollaborative Plattform als Basis der Interaktionen sowie als Lieferant der notwendigen Datengrundlagen (z.B. Microsoft Mesh Plattform) [29]. Dies ermöglicht den Nutzern eine agnostische Zusammenarbeit. Unabhängig vom verwendeten Endgerät können Nutzer mit ihrem eigenen Avatar in eine Sitzung eintreten und gemeinsam Aufgaben an einem virtuellen Objekt durchführen sowie verbal und gestisch Informationen darüber austauschen. Das entsprechende "Objekt" ist für jeden Nutzer rein virtuell und wird in seinen Raum projiziert [26, 30].

Ein AR-Ausgabegerät orientiert sich in der Regel an gemessenen Positionsunterschieden relativ zu seiner Umgebung und projiziert Hologramme in Bezug auf diese. Bei der Verwendung von SLAM-Algorithmen ist die Umgebung jedoch im Voraus unbekannt [31]. Daher kann die Zuordnung bzw. das Mapping von virtuellen Kontexten zur Umgebung in der Regel erst während der eigentlichen

Laufzeit erfolgen. Um dieses Problem zu lösen, wurden spezielle Rahmenwerke entwickelt, die das Koordinatensystem für eine optimierte Zentrierung und Projektion der virtuellen Welt in die reale Umgebung fixieren. Diese werden als "World-Locking"-Algorithmen bezeichnet [32–34]. Dadurch wird die Bereitstellung eindeutiger Referenzpunkte, auch "Ankerpunkte" genannt, von der realen Welt (z.B. QR-Codes) zur AR-Brille ermöglicht. So kann die Lokalisierung von Ankerpunkten der realen Welt mit vordefinierten Punkten des virtuellen Modells ergänzt werden [33, 34][31, 32]. In diesem Kontext gibt es auch vorgefertigte Bausteine, wie z.B. der von Microsoft entwickelte Framework namens "World Locking Tool" [35], dass im Rahmen von aktuellen Forschungsprojekten vielfältig eingesetzt wird [33, 36, 37].

Ansätze und Implementierungen von immersiven und kollaborativen Meetings werden in verschiedenen Szenarien in der wissenschaftlichen Gemeinschaft erforscht. Lee et al. präsentieren einen Ansatz für eine immersive Kollaborationsumgebung für das Handwerk unter Verwendung von AR-, VR- und LiDAR-Scan-Techniken [38]. Thanyadit et al. stellen in deren Artikel eine virtuelle Arbeitsumgebung zum Testen und Trainieren kollaborativer Laborarbeit unter Verwendung verschiedener Applikationsfunktionen dar [39]. Darüber hinaus stellen Lee und Yoo ein XR-Fernkollaborationssystem und dessen Umsetzung an den beiden Fallstudien Fernwartung und Kugelhahnwechsel vor [40]. Zudem beschreiben Mourtzis et al. eine Cloud-basierte Plattform für immersive Besprechungen für kollaboratives Produktdesign im Sinne einer digitalen Lernfabrik [41]. Ein spezieller Anwendungsfall der Microsoft Mesh-Plattform für immersive Besprechungen wird in dem wissenschaftlichen Artikel von Dong und Liu [30] behandelt.

### 3.2 Immersive Technologien in der Bauindustrie

Bei der fortschreitenden Etablierung der BIM-Methode in der Bauwirtschaft und der Schaffung einer qualitativen Datenbasis für weitere Technologien werden immersive Technologien in verschiedenen Bereichen eingesetzt. So wird beispielsweise die AR-Technologie bereits über den gesamten Lebenszyklus - Planung, Ausführung, Betrieb und Rückbau - eingesetzt [42]. Dabei wird die Technologie für Visualisierungen und Simulationen [43, 44], für die Kommunikation [45, 46] und die Informationsverarbeitung [47, 48] verwendet. Zusätzlich gibt es Anwendungsfelder im Bereich von Aus- und Weiterbildung [49, 50] und für Sicherheitsinspektionen [51, 52]. Darüber hinaus erfährt sie einen Nutzen auch direkt in der Bauausführungsphase, zum Beispiel bei der Baufortschrittsüberwachung [53] und der Schadenserkenkung benutzt [52, 54, 55]. AR-Technologien können aber auch zur Bewertung [56], Aktualisierung [45] und Validierung von digitalen Modellen [57] eingesetzt werden. Obendrein gibt es Ansätze, AR-Geräte für die Datenerfassung und Kommunikation auf der Baustelle einzusetzen [58]. Gleichzeitig zur AR hat die VR-Technologie ebenfalls in der Bauindustrie ein breites Anwendungsspektrum. So wird VR beispielsweise für Qualitätskontrollen in der Planungsphase, die Visualisierung und

Präsentation von BIM-Modellen sowie für das Einholen von Feedback von externen Personen eingesetzt [59, 60]. Des Weiteren werden VR-basierte Schulungen [61–63] sowie Baustellenüberwachungen in Verbindung mit BIM-Modellen durchgeführt [64].

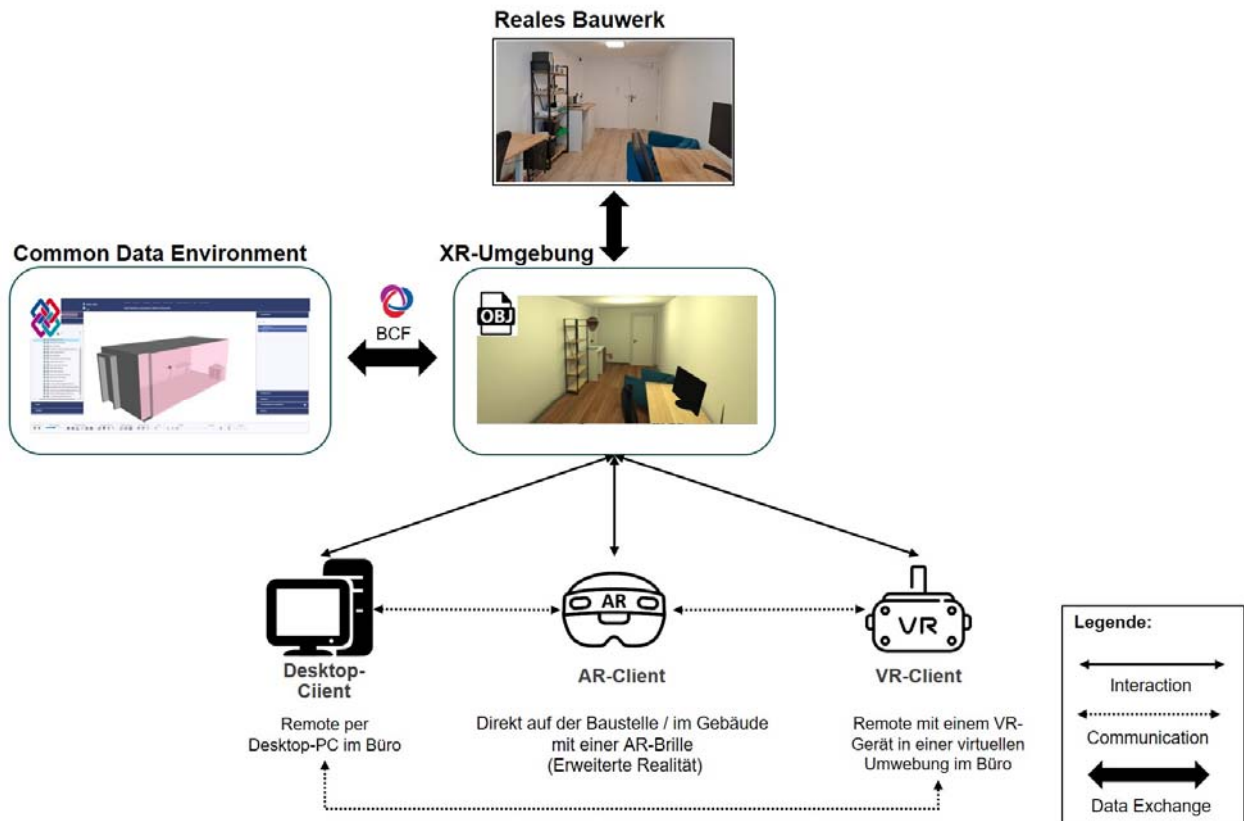
Werden beide Technologien (AR und VR) in Kombination eingesetzt, spricht man auch von Mixed Reality (XR). Bei der Verwendung von XR dienen auch digitale BIM-Modell der Baustelle oder des Bauwerks als Datengrundlage. Catbas et al. stellen verschiedene Anwendungen des Einsatzes von XR zur Zustandsbewertung komplexer Gebäudestrukturen im Hochbau und der Infrastruktur vor [65]. Al-Adhami et al. verwenden XR-Debugger zur Qualitätsbewertung zwischen der realen Struktur und der digitalen Repräsentation [66]. Zusätzlich werden XR-Ansätze auch im Bereich der Baustellensicherheit angewendet und von Salinas et al. in ihrem wissenschaftlichen Artikel zusammengefasst [67]. Zusätzlich beschreiben Alizadehsalehi und Yitmen einen XR-basierten Ansatz für eine neuartige Fortschrittskontrolle mit digitalen Zwillingen auf der Baustelle [68].

## 3 Entwicklung des Konzepts

Um eine Abgrenzung und gleichzeitige Zusammenführung bereits geleisteter Teilarbeiten in diesem Bereich zu schaffen, werden im Folgenden die Kernaspekte der Zusammenarbeit in der XR identifiziert und mittels einer virtuellen Baubesprechung integriert/zugeordnet. Dabei werden im Konzept drei Hauptdomänen unterschieden:

1. Kohärenz von Virtualität und Realität
2. Informationsaustausch der beteiligten Parteien (verbale und nonverbale Kommunikation)
3. Visualisierung und Produktion von kontextuellen Informationen

Der erste Bereich des Konzepts beschreibt die Kohärenz von Virtualität und Realität. Die Kohärenz (in unserem Sinne die Übereinstimmung von virtueller und realer Umgebung, gleichbedeutend mit Synchronisation) hängt vom Grad des verwendeten Ausgabegeräts (VR/AR/Desktop-Computer) ab. Während ein navigierbares, detailliertes 3D-Modell auf einem Monitor für einen Desktop-Nutzer ausreichend erscheinen mag, sind die Anforderungen für eine Umsetzung in AR ungleich höher. Soll das 3D-Modell des Gebäudes auf ihr reales Gegenstück vor Ort projiziert werden, muss eine exakte Überlappung gewährleistet sein. Mit Hilfe des Toolkits "World Locking Tools" [35] [33] und aufgedruckten und im Raum verteilte QR-Codes sollen die virtuellen Daten einen festen Bezugspunkt in der Realität erhalten. Dies erhöht die Kohärenz der beiden Ebenen (Virtualität und Realität) und den Grad der Immersion des Nutzers. Ist die Kohärenz für jeden Nutzer individuell gewährleistet, werden die Positionen der einzelnen Nutzer relativ zum Gebäude über ein neu aufgebautes Netzwerk synchronisiert. Das Ergebnis ist ein synchronisierter Raum, in dem jeder Nutzer seine Position in Bezug auf das virtuelle



**Bild 1** Systemmodell der immersiven Besprechung

Modell als kohärent wahrnimmt. Zudem wird auch die visuelle Darstellung der anderen Nutzer in Form ihrer Avatare als exakt und logisch mit deren Positionen wahrgenommen. Dies ist eine Grundvoraussetzung für den Informationsaustausch in der immersiven Sitzung.

Der zweite Bereich des Konzepts konzentriert sich auf den Austausch von Informationen zwischen den beteiligten Parteien. Dies impliziert eine verbale und nonverbale Kommunikation. Während die verbale Kommunikation (Sprache und Schrift) in vielen Bereichen der digitalen Arbeit Standard ist, gilt die nonverbale Kommunikation als Schlüsselfaktor einer immersiven Besprechung. In diesem Zusammenhang ist eine präzise Geste, z.B. ein "Zeigen" auf ein zu betrachtendes Objekt, effektiver als eine Beschreibung des Kontextes. Im Idealfall bietet die immersive Besprechung also sowohl verbale als auch nonverbale Kommunikationsmöglichkeiten. Diese Möglichkeiten sind immer abhängig von dem verwendeten Endgerät. Im Rahmen des in diesem Fachartikel entwickelten Konzeptes werden beide Kommunikationsmittel berücksichtigt (s. Bild 1). Sowohl die Möglichkeiten der Sprachsteuerung, als auch der Einsatz von Gesten sind im immersiven Meeting im Gebäude möglich. Die Basis der immersiven Baubesprechung ist ein digitales, objektorientiertes Gebäudemodell. Dies fördert die Zusammenarbeit und dient als konsistente Datenbasis. Das bedeutet, dass für alle Beteiligten immer die gleichen, aktuellen Daten im Modell transparent zur Verfügung stehen.




Der letzte Bereich befasst sich mit der Betrachtung und Erstellung von kontextbezogenen Informationen während der

immersiven Sitzung. Eine digitale und effiziente Methode für die Planung, Modellierung und Steuerung im Bausektor ist Building Information Modeling [79]. Die immersive Besprechung baut auf der BIM-Methode auf und ermöglicht einen bidirektionalen Datenaustausch zwischen der XR-Umgebung und einem Common Data Environment (CDE). So können die während des Meetings gewonnenen Erkenntnisse als semantische Informationen am Modell verortet und an das CDE übertragen werden. Das Gleiche gilt für die Verwendung neuer Daten aus dem CDE während der immersiven Sitzung in der XR-Umgebung. Auf diese Weise unterstützt das Konzept des immersiven Meetings auch die Idee einer einzigen Projektplattform, agierend als „Single-Source-of-Truth (SSoT)“ [80].

In diesem Kontext werden die digitalen Modelle in den offenen Datenformaten „Industry Foundation Classes (IFC)“ und „OBJ“-Format in den einzelnen Plattformlösungen verwaltet. Über die verschiedenen Endgeräte haben alle Teilnehmer die Möglichkeit auf Basis einer einheitlichen und transparenten Datenbasis (BIM-Modell) in Echtzeit zu kommunizieren. Dies kann durch Sprache, Chat oder iterativen Gesten in der realen Welt geschehen. Darüber hinaus kann eine genaue Sichtbarkeit des eigenen Standorts in Bezug auf das Gebäude von den anderen Gesprächsteilnehmern wahrgenommen werden. Jeder registrierte Nutzer kann sich über einen VPN-Client in die XR-Umgebung einloggen und mit dem entsprechenden Endgerät an dem immersiven Meeting teilnehmen. Das aktuelle BIM-Modell mit allen relevanten Informationen wird für alle Teilnehmer identisch angezeigt. Auf diese Weise erhalten die

involvierten Akteure der Besprechung Zugang zu allen geometrischen und semantischen Informationen und können sich über relevante Themen (z.B. Mängel, Ausstattungen, etc.) diskutieren. Ferner ist es möglich, direkt am digitalen Modell in der XR-Umgebung Annotationen im „BIM Collaboration Format (BCF)“ zu erstellen. Diese Annotationen werden dann ebenfalls in Echtzeit als BCF-Ausgabe über die bidirektionale Datenschnittstelle an das CDE übertragen. Tabelle 1 zeigt eine grundsätzliche Möglichkeit der involvierten Akteure einer immersiven Besprechung mit unterschiedlichen Ausgabegeräten und Realitäten. Die Anzahl der teilnehmenden Personen ist dabei nicht beschränkt und wird je nach Bedarf individuell festgelegt.

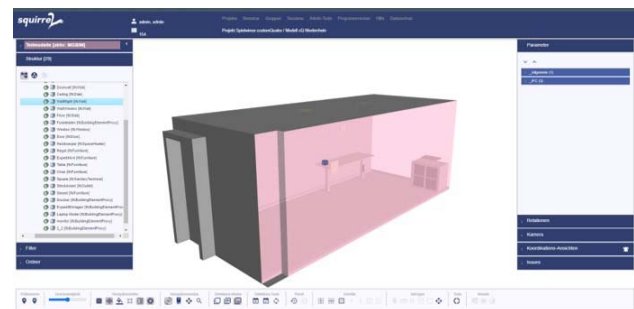
**Tabelle 1** Teilnehmende an der immersiven Besprechung

Teilnehmende Person	Beschreibung
<p><b>Bauüberwachung</b></p>  <p>Direkt auf der Baustelle / im Gebäude mit einer AR-Brille Erweiterte Realität</p>	<p>Der Bauüberwacher verwendet ein AR-Ausgabegerät und befindet sich direkt auf der Baustelle oder im Gebäude. Dabei kann die Person das BIM-Modell direkt in die Realität einblenden. Dabei können beispielsweise Mängel o. Fehler identifiziert oder Ausführungsvarianten diskutiert werden.</p> <p>In diesem Zusammenhang steht der Ingenieur in einer Interaktion mit dem digitalen Bauwerksmodell. Er kann zum einen Informationen aus dem Modell o. der CDE direkt vor Ort abrufen. Zum anderen können auch Annotationen direkt vor Ort ausgeführt und in Echtzeit integriert werden.</p>
<p><b>Bauherr</b></p>  <p>Fernzugriff über einen Desktopcomputer im Büro</p>	<p>Der Bauherr - ggf. unter Beteiligung eines erweiterten Teams von Experten aus verschiedenen Fachbereichen - verfolgt die Baubesprechung live von seinem Desktoprechner am Arbeitsplatz aus. So kann er sich über den aktuellen Baufortschritt oder den Zustand des Bauwerkes informieren. Dabei können Entscheidungen direkt getroffen und bei kritischen Situationen sofort reagiert und eingegriffen werden.</p>
<p><b>Ingenieurbüro</b></p>  <p>Beitragung mit einer VR-Brille in der virtuellen Umgebung im Büro</p>	<p>Von einem dritten Standort aus, z.B. einem planenden Architektur- o Ingenieurbüro, verfolgt ein weiterer Fachingenieur ebenfalls die Baubesprechung. Dieser nutzt die VR-Technologie und befindet sich währenddessen in der virtuellen Umgebung unter Verwendung des BIM-Modells. Mit der VR-Brille können die Annotation inkl. realen Bildes nachvollzogen werden. So kann die beteiligte Person direkt bei der</p>

Entscheidungsfindung unterstützen. Bei Bedarf kann sie in Echtzeit Fragen an die Bauüberwachung sowie an andere Kollegen vor Ort stellen. Gleichzeitig kann die Person weitere Annotationen dem Modell hinzufügen, die alle Personen transparent und in Echtzeit abrufen können.

## 4 Implementierung

Die grundsätzliche Machbarkeit der immersiven Besprechung wird durch die Implementierung eines PoC veranschaulicht. Sie wird direkt an einem Demonstrator, einem Büro eines Gebäudes durchgeführt (s. Bild 3). Zu diesem Zweck wurde ein digitales Modell (s. Bild 2) des Raumes erstellt. Im ersten Schritt wird das digitale Modell inklusive Bestandsdaten in einer Common Data Environment (CDE) im offenen Datenaustauschformat IFC gespeichert. Bei der Durchführung der immersiven Besprechung wird das BIM-Modell aus dem CDE in die XR-Umgebung übertragen. Die XR-Umgebung basiert auf einer Game-Engine, in diesem Fall Unity. Bei der Transformation wird das IFC-Datenformat in ein OBJ-Datenformat unter Verwendung eines Meshing-Algorithmus umgewandelt. Der Meshing-Algorithmus erzeugt aus dem digitalen Raummodell eine zusätzliche "Mesh-Ebene". Das digitale Modell im OBJ-Format dient als Interaktionsschicht in der AR-Umgebung auf dem realen Objekt. Die Interaktion in der VR-Umgebung und der webbasierten Plattform basiert auf dem digitalen Gebäudemodell im IFC-Format. Vor der eigentlichen Durchführung der immersiven Besprechung erfolgt ein Abgleich zwischen dem digitalen Modell und dem realen Objekt. Dazu dienen aufgedruckte QR-Codes als Ankerpunkte für die Synchronisation des realen und virtuellen Koordinatensystems.



**Bild 2** Digitales Modell in der Common Data Environment

Zu Beginn der Erprobung wurden die QR-Codes im Raum mit der AR-Brille (Microsoft HoloLens 2) gescannt. Im gleichen Zuge wurde der "World Locking Algorithmus" [33] ausgeführt, umso das digitale Modell in der XR-Umgebung an der realen Umgebung auszurichten. Dadurch wird die Kohärenz der realen Welt mit der virtuellen Umgebung erzeugt. Zusätzlich erfolgt die Überlagerung des realen Koordinatensystems mit dem digitalen Koordinatensystem. Resultierend daraus entsteht eine exakte Überlappung zwischen des realen Raums und dem digitalen Abbild. Dies garantiert eine geringe Abweichungstoleranzen

bei der Interaktion mit dem Modell. Bei der Implementierung wurde eine Abweichung von 3,00 cm zwischen dem realen Objekt und dem digitalen Modell festgestellt.



**Bild 3** Implementierung des Demonstrators per AR

Für den PoC werden insgesamt drei Nutzer an der immersiven Besprechung teilnehmen. Im Konzept kann die Anzahl der Teilnehmenden im Netzwerk nach Bedarf beliebig erweitert werden (s. Tabelle 1). Ein AR-Client, der sich direkt vor Ort im Büro befindet, und die Besprechung leitet. Zudem nehmen zwei Nutzer, die sich jeweils in einer VR-Umgebung und einer webbasierten Plattform befinden, teilzunehmen. Alle Nutzer erhalten über einen VPN-Client individuellen Zugriff auf die Plattform. Für die Durchführung einer immersiven Besprechung ist eine Mobilfunkverbindung vor Ort unerlässlich. Bei der Validierung ist das vorhandene LTE-Netz des Mobilfunkbetreibers ausreichend. Jeder Teilnehmer des Meetings erhält seinen eigenen Avatar. Der AR-Client wird als Avatar mit seiner genauen Position auf dem digitalen Modell auf der XR-Umgebung dargestellt (siehe Bild 4).



**Bild 4** XR-Umgebung mit einem Avatar

Die beiden anderen Clients (VR und Desktop) werden in der erweiterten Realität mit ihrem genauen Blickwinkel als Symbole angezeigt. So kennen alle Teilnehmer die genauen Positionen sowie den Blickwinkel der Anderen. Dies gewährleistet eine transparente Zusammenarbeit. Alle Teilnehmer, insgesamt drei Personen, konnten erfolgreich an der Besprechung teilnehmen und über Gesten und Sprache im Modell kommunizieren. Zudem konnten vorhandene Informationen direkt aus der CDE in die XR-Umgebung angezeigt werden (s. Bild 5). In diesem ersten Prototyp ist die Rückführung einer Annotation aus der XR-Umgebung in die CDE unter Nutzung eines BCF-Datenpunktes im bidirektionalen Datenaustausch noch nicht möglich. Ziel war es, die grundsätzliche Machbarkeit eines immersiven Meetings auf Basis eines digitalen BIM-Modells im Hochbau zu demonstrieren.



**Bild 5** Darstellung semantischer Informationen in der XR-Umgebung

## 5 Diskussion

Der Artikel stellt den Ansatz einer immersiven Baubesprechung unter Verwendung digitaler BIM-Modelle im Hochbau vor. Durch die Umsetzung des Konzepts als PoC an einem realen Demonstrator wurde die grundsätzliche Machbarkeit gezeigt. Über einen sicheren VPN-Zugang können alle Akteure über verschiedene Endgeräte an dem immersiven Meeting teilnehmen und interagieren. Darüber hinaus wurde das digitale Modell mit dem realen Modell mit einer minimalen Abweichung von 3 cm synchronisiert. Zugleich können alle relevanten semantischen Attribute des Bauwerks in allen beiden Umgebungen problemlos angezeigt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit der Nutzenden direkt mit dem Modell in eine Interaktion zu treten und notwendige Annotationen direkt während der Besprechung über BCF-Topics direkt zu erstellen und im Modell exakt zu verorten. Des Weiteren konnte eine performante Schnittstelle zwischen den beiden zum Einsatz kommenden Plattformen (CDE und XR-Umgebung). Gleichzeitig fördert diese Schnittstelle auch die Interoperabilität des Ansatzes, durch die Verwendung von offenen Datenaustauschformaten, wie beispielsweise IFC, BCF und OBJ. Durch den zukünftigen Einsatz der immersiven Besprechung können alle relevanten Prozesse, Besprechungen und Inspektionen im Lebenszyklus eines Bauwerks ortsunabhängig durchgeführt werden. So können bei akuten Problemen jederzeit Experten über die immersive Besprechung hinzugezogen werden. Außerdem stärkt diese neue Art der Kollaboration die Zusammenarbeit aller Beteiligten. Ferner wird der Gedanke einer Single Source of Truth und der openBIM-Ansatz durch die bidirektionale Schnittstelle mit einem Echtzeit-Datenaustausch zwischen der XR-Umgebung und einem CDE sowie die Verwendung offener Datenformate gestärkt. Obendrein wird die Etablierung eines digitalen Zwillings gefördert, da durch den immersiven Ansatz die reale und die digitale Welt stärker miteinander verschmelzen.

Neben den positiven Aspekten des umgesetzten Konzepts weist der Ansatz auch Einschränkungen auf. Eine Einschränkung des Ansatzes ist die bestehende Abweichung zwischen dem realen Objekt und dem digitalen Modell. Obwohl die Abweichung bei etwa drei bis vier Zentimetern liegt, weisen die gedruckten QR-Codes als Referenzpunkte eine hohe Fehlerquote auf. Dies kann durch den Einsatz



von innerräumliche Navigation zur genauen georeferenzierten Synchronisation optimiert werden. Eine weitere Einschränkung ist die Notwendigkeit eines intakten und performanten Datennetzes innerhalb und außerhalb des Gebäudes zur qualitativen Durchführung. Dies kann zu Problemen führen, wenn sich die Baustelle oder das Gebäude in ländlichen Gebieten befindet. Zudem können Empfangsprobleme in Innenräumen auftreten. Darüber hinaus gibt es Einschränkungen hinsichtlich der Robustheit des Systems. Im Moment ist dieser Ansatz noch eine spezifische "Einzellösung" ohne volle Praxistauglichkeit für die spezifischen Prozesse in der Planung, Ausführung und dem Betrieb von Gebäuden. In dem Artikel wurde der erste Ansatz vorgestellt und im begrenzten Umfang die grundsätzliche Machbarkeit anhand eines Fallbeispiels präsentiert.

Weitere Forschungsbedarfe leiten sich aus den bestehenden Einschränkungen ab. In Zukunft soll die Realität über genaue innerräumliche Navigation mit der virtuellen Umgebung synchronisiert werden. Außerdem wird die Systemarchitektur weiterentwickelt, um die Robustheit zu erhöhen. Auch die Schnittstelle für den bidirektionalen Datenaustausch in Echtzeit mit einem CDE wird weiterentwickelt. Ein weiterer wichtiger Punkt in den weiteren Forschungsaktivitäten ist die Darstellung, Verarbeitung und Modifikation von semantischen Informationen des digitalen Modells direkt auf der XR-Umgebung. Zur Sicherstellung der qualitativen Praxistauglichkeit werden für die Optimierungszyklen weitere Validierungen an realen Demonstratoren durchgeführt und Expertenmeinungen eingeholt. Außerdem kann der Ansatz einer immersiven Besprechung auch auf andere Bauwerksstrukturen, wie z.B. Brücken, Tunnel, Anlagen übertragen werden.

## 6 Fazit und Ausblick

Der wissenschaftliche Artikel stellt das Konzept einer ortsunabhängigen Besprechung im Lebenszyklus von Gebäuden vor. Die theoretischen Grundlagen werden beschrieben und in einem Systemmodell dargestellt. Folgend wird der Ansatz an einem realen Demonstrator implementiert, um die Machbarkeit und erste Validierung aufzuzeigen. Anschließend erfolgt die Diskussion der erzielten Ergebnisse. Weiterführend werden die identifizierten Mehrwerte sowie Grenzen aufgezeigt.

Der neue Ansatz der immersiven Baubesprechung mit digitalen Modellen und XR-Technologien fördert die weitere Digitalisierung der Baubranche und unterstützt die weitere flächendeckende Umsetzung der BIM-Methode. Darüber hinaus wird die Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten in allen Phasen des Lebenszyklus gestärkt. Auch das Zusammenspiel von Mensch und Technik wird optimiert. Resultierend führt dies zu einer erhöhten Prozessqualität und -effizienz in den einzelnen Lebenszyklusphasen - Planung, Bauausführung sowie Betrieb – eines Gebäudes.

## Widmung

Diese Forschung wird vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung des Bundesministerium für Wohnen,

Stadtentwicklung und Bauwesen im Förderprogramm ZukunftBau (Projekt: BIMLoVe; Projektnummer: 10.08.18.7-21.42) gefördert

Des Weiteren wird das Vorhaben vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) im Rahmen des Förderprogramms mFUND im Projekt mdFBIM+ (FKZ: 19FS2021A) unterstützt.

## Literatur

- [1] S. Kortekamp, S. Werning, O. Thomas und I. Ickerott, „The future of digital work - Use cases for augmented reality“ in *Proceedings of the 27th European Conference on Information Systems (ECIS, Stockholm: Association for Information Systems, 2019.*
- [2] B. Han und F. Leite, „Generic extended reality and integrated development for visualization applications in architecture, engineering, and construction“, *Automation in Construction*, Jg. 140, S. 104329, 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104329.
- [3] C. Liu, S. Cao, W. Tse und X. Xu, „Augmented Reality-assisted Intelligent Window for Cyber-Physical Machine Tools“, *Journal of Manufacturing Systems*, Jg. 44, S. 280–286, 2017, doi: 10.1016/j.jmsy.2017.04.008.
- [4] S. R. Sorko und M. Brunnhofer, „Potentials of Augmented Reality in Training“, *Procedia Manufacturing*, Jg. 31, S. 85–90, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.03.014.
- [5] D. Segovia, M. Mendoza, E. Mendoza und E. González, „Augmented Reality as a Tool for Production and Quality Monitoring“, *Procedia Computer Science*, Jg. 75, S. 291–300, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.12.250.
- [6] F. de Pace, F. Manuri und A. Sanna, „Augmented Reality in Industry 4.0“, *Am J Compt Sci Inform Technol*, Jg. 06, Nr. 01, 2018, doi: 10.21767/2349-3917.100017.
- [7] P. Diegmann, M. Schmidt-Kraepelin, S. Eynden und D. Basten, „Benefits of Augmented Reality in Educational Environments - A Systematic Literature Review“, *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2015*, 2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://aisel.aisnet.org/wi2015/103>
- [8] C. Ziker, B. Truman und H. Dodds, „Cross Reality (XR): Challenges and Opportunities Across the Spectrum“ in *Innovative Learning Environments in STEM Higher Education*, J. Ryoo und K. Winkelmann, Hg., Cham: Springer Nature, 2021, S. 55–77, doi: 10.1007/978-3-030-58948-6\_4.
- [9] H.-K. Wu, S. W.-Y. Lee, H.-Y. Chang und J.-C. Liang, „Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education“, *Computers & Education*, Jg. 62, S. 41–49, 2013, doi: 10.1016/j.compedu.2012.10.024.
- [10] J. Carmigniani, B. Furht, M. Anisetti, P. Ceravolo, E. Damiani und M. Ivkovic, „Augmented reality technologies, systems and applications“, *Multimed Tools Appl*, Jg. 51, Nr. 1, S. 341–377, 2011, doi: 10.1007/s11042-010-0660-6.
- [11] A. Caputo, S. Jacota, S. Krayevskyy, M. Pesavento, F. Pellacini und A. Giachetti, „XR-Cockpit: a comparison of VR and AR solutions on an interactive training station“ in *2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Vienna, Austria, 2020, S. 603–610, doi: 10.1109/ETFA46521.2020.9212043.
- [12] J. Ryoo und K. Winkelmann, Hg., *Innovative Learning Environments in STEM Higher Education*. Cham: Springer Nature, 2021.

- [13] T. Zhan, K. Yin, J. Xiong, Z. He und S.-T. Wu, „Augmented Reality and Virtual Reality Displays: Perspectives and Challenges“ (eng), *iScience*, Jg. 23, Nr. 8, S. 101397, 2020, doi: 10.1016/j.isci.2020.101397.
- [14] M. K. Bekele und E. Champion, „A Comparison of Immersive Realities and Interaction Methods: Cultural Learning in Virtual Heritage“ (eng), *Frontiers in robotics and AI*, Jg. 6, S. 91, 2019, doi: 10.3389/frobt.2019.00091.
- [15] D. Puljiz, E. Stohr, K. S. Riesterer, B. Hein und T. Kroger, „General Hand Guidance Framework using Microsoft HoloLens“ in *2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Macau, China, 2019, S. 5185–5190, doi: 10.1109/IROS40897.2019.8967649.
- [16] P. Schutt, M. Schwarz und S. Behnke, „Semantic Interaction in Augmented Reality Environments for Microsoft HoloLens“ in *2019 European Conference on Mobile Robots (ECMR)*, Prague, Czech Republic, 2019, S. 1–6, doi: 10.1109/ECMR.2019.8870937.
- [17] P. V. Ramesh et al., „Holographic elysium of a 4D ophthalmic anatomical and pathological metaverse with extended reality/mixed reality“ (eng), *Indian journal of ophthalmology*, Jg. 70, Nr. 8, S. 3116–3121, 2022, doi: 10.4103/ijo.IJO\_120\_22.
- [18] A. Borrmann, M. König, C. Koch und J. Beetz, *Building Information Modeling*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021.
- [19] K. Klemt-Albert und R. Hartung, „Building Information Modeling“ in *Bautabellen für Ingenieure: Mit Berechnungshinweisen und Beispielen*, A. Albert, Hg., 25. Aufl. Köln: Reguvis, 2022, 8.31-8.50.
- [20] J. Krischler und C. Koch, „BIM-Rollen“ in *VDI-Buch, Building Information Modeling*, A. Borrmann, M. König, C. Koch und J. Beetz, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021, S. 353–362, doi: 10.1007/978-3-658-33361-4\_17.
- [21] M. Deubel, J. Wolber und S. Hagsheno, „Identifikation, Analyse und Kategorisierung von BIM-Anwendungsfällen/Identification, analysis and categorization of BIM use cases“, *Bauingenieur*, Jg. 93, 07-08, S. 295–303, 2018, doi: 10.37544/0005-6650-2018-07-08-61.
- [22] R. Schönbach, K. Klemt-Albert, E. Aßmus und M. Bergmann, „Entwicklung des Masterplan BIM für Bundesbauten/Development of the BIM master plan for Federal Buildings“, *Bauingenieur*, Jg. 96, Nr. 05, S. 173–181, 2021, doi: 10.37544/0005-6650-2021-05-57.
- [23] L. Chen und H. Luo, „A BIM-based construction quality management model and its applications“, *Automation in Construction*, Jg. 46, S. 64–73, 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2014.05.009.
- [24] H. Homayouni, G. Neff und C. S. Dossick, „Theoretical Categories of Successful Collaboration and BIM Implementation within the AEC Industry“ in *Construction Research Congress 2010*, Banff, Alberta, Canada, 2010, S. 778–788, doi: 10.1061/41109(373)78.
- [25] M. Oraee, M. R. Hosseini, E. Papadonikolaki, R. Palliyaguru und M. Arashpour, „Collaboration in BIM-based construction networks: A bibliometric-qualitative literature review“, *International Journal of Project Management*, Jg. 35, Nr. 7, S. 1288–1301, 2017, doi: 10.1016/j.ijproman.2017.07.001.
- [26] G. Kostov und J. Wolfartsberger, „Designing a Framework for Collaborative Mixed Reality Training“, *Procedia Computer Science*, Jg. 200, S. 896–903, 2022, doi: 10.1016/j.procs.2022.01.287.
- [27] H. Xue, P. Sharma und F. Wild, „User Satisfaction in Augmented Reality-Based Training Using Microsoft HoloLens“, *Computers*, Jg. 8, Nr. 1, S. 9, 2019, doi: 10.3390/computers8010009.
- [28] D. Abdulkarim et al., „A methodological framework to assess the accuracy of virtual reality hand-tracking systems: A case study with the Meta Quest 2“ (eng), *Behavior research methods*, 2023, doi: 10.3758/s13428-022-02051-8.
- [29] A. K. Upadhyay und K. Khandelwal, „Metaverse: the future of immersive training“, *SHR*, Jg. 21, Nr. 3, S. 83–86, 2022, doi: 10.1108/SHR-02-2022-0009.
- [30] H. Dong und Y. Liu, „Metaverse Meets Consumer Electronics“, *IEEE Consumer Electron. Mag.*, S. 1–3, 2022, doi: 10.1109/MCE.2022.3229180.
- [31] C. Theodorou, V. Velisavljevic, V. Dyo und F. Nonyelu, „Visual SLAM algorithms and their application for AR, mapping, localization and wayfinding“, *Array*, Jg. 15, S. 100222, 2022, doi: 10.1016/j.array.2022.100222.
- [32] S. M. U. Arif, M. Carli und F. Battisti, „A study on human reaction time in a mixed reality environment“ in *2021 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, Iasi, Romania, 2021, S. 1–4, doi: 10.1109/ISSCS52333.2021.9497369.
- [33] S. Teruggi und F. Fassi, „MIXED REALITY CONTENT ALIGNMENT IN MONUMENTAL ENVIRONMENTS“, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII-B2-2022, S. 901–908, 2022, doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2022-901-2022.
- [34] I. Novakova, F. Jakab, M. Michalko und O. Kainz, „Methodical procedure for creating content for interactive augmented reality“ in *2022 20th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Stary Smokovec, Slovakia, 2022, S. 466–471, doi: 10.1109/ICETA57911.2022.9974837.
- [35] Microsoft, *WorldLockingTools-Unity*. [Online]. Verfügbar unter: <https://github.com/microsoft/MixedReality-WorldLockingTools-Unity/releases> (Zugriff am: 27. Februar 2023).
- [36] M. A. Hamilton, A. P. Beug, H. J. Hamilton und W. J. Norton, „Augmented Reality Technology for People Living with Dementia and their Care Partners“ in *ICVARS 2021: 2021 the 5th International Conference on Virtual and Augmented Reality Simulations*, Melbourne VIC Australia, 2021, S. 21–30, doi: 10.1145/3463914.3463918.
- [37] J. Simonen, T. Björk, T. Nikula und K. Ryyänen, „Measuring world-locking accuracy in AR/MR head-mounted displays“ in *Optical Architectures for Displays and Sensing in Augmented, Virtual, and Mixed Reality (AR, VR, MR) II*, Online Only, United States, 28.03.2021 - 01.04.2021, S. 30, doi: 10.1117/12.2584208.
- [38] Y. Lee, B. Yoo und S.-H. Lee, „Sharing Ambient Objects Using Real-time Point Cloud Streaming in Web-based XR Remote Collaboration“ in *Web3D '21: The 26th International Conference on 3D Web Technology*, Pisa Italy, 2021, S. 1–9, doi: 10.1145/3485444.3487642.
- [39] S. Thanyadit, P. Punpongsonon, T. Piumsomboon und T.-C. Pong, „XR-LIVE: Enhancing Asynchronous Shared-Space Demonstrations with Spatial-temporal Assistive Toolsets for Effective Learning in Immersive Virtual Laboratories“, *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, Jg. 6, CSCW1, S. 1–23, 2022, doi: 10.1145/3512983.
- [40] Y. Lee und B. Yoo, „XR collaboration beyond virtual reality: work in the real world“, *Journal of Computational*

- Design and Engineering, Jg. 8, Nr. 2, S. 756–772, 2021, doi: 10.1093/jcde/qwab012.
- [41] D. Mourtzis, V. Siatras, J. Angelopoulos und N. Panopoulos, „An Augmented Reality Collaborative Product Design Cloud-Based Platform in the Context of Learning Factory“, *Procedia Manufacturing*, Jg. 45, S. 546–551, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.04.076.
- [42] S. Rankohi und L. Waugh, „Review and analysis of augmented reality literature for construction industry“, *Vis. in Eng.*, Jg. 1, Nr. 1, 2013, doi: 10.1186/2213-7459-1-9.
- [43] L. S. Kang, H. S. Moon, N. Dawood und M. S. Kang, „Development of methodology and virtual system for optimised simulation of road design data“, *Automation in Construction*, Jg. 19, Nr. 8, S. 1000–1015, 2010, doi: 10.1016/j.autcon.2010.09.001.
- [44] X. Liang, M. Lu und J.-P. Zhang, „On-site visualization of building component erection enabled by integration of four-dimensional modeling and automated surveying“, *Automation in Construction*, Jg. 20, Nr. 3, S. 236–246, 2011, doi: 10.1016/j.autcon.2010.10.002.
- [45] N. Gu, M. J. Kim und M. L. Maher, „Technological advancements in synchronous collaboration: The effect of 3D virtual worlds and tangible user interfaces on architectural design“, *Automation in Construction*, Jg. 20, Nr. 3, S. 270–278, 2011, doi: 10.1016/j.autcon.2010.10.004.
- [46] A. Hammad, H. Wang und S. Mudu, „Distributed augmented reality for visualizing collaborative construction tasks“, *ASCE Journal of Computing in Civil*, Nr. 23, S. 418–427, 2009.
- [47] A. Behzadan und V. Kamat, „Integrated information modeling and visual simulation of engineering operations using dynamic augmented reality scene graphs.“, *Journal of Information Technology in Construction (ITCon)*, Nr. 16, S. 25–278, 2011. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.itcon.org/paper/2011/17>
- [48] A. D. Styliadis, „Historical photography-based computer-aided architectural design: Demolished buildings information modeling with reverse engineering functionality“, *Automation in Construction*, Jg. 18, Nr. 1, S. 51–69, 2008, doi: 10.1016/j.autcon.2008.04.010.
- [49] A. Jardón, J. G. Victores, S. Martínez und C. Balaguer, „Experience acquisition simulator for operating micro-tunneling boring machines“, *Automation in Construction*, Jg. 23, S. 33–46, 2012, doi: 10.1016/j.autcon.2011.12.002.
- [50] X. Wang, „Augmented Reality in Architecture and Design: Potentials and Challenges for Application“, *International Journal of Architectural Computing*, Jg. 7, Nr. 2, S. 309–326, 2009, doi: 10.1260/147807709788921985.
- [51] Y. Li und C. Liu, „Integrating field data and 3D simulation for tower crane activity monitoring and alarming“, *Automation in Construction*, Jg. 27, S. 111–119, 2012, doi: 10.1016/j.autcon.2012.05.003.
- [52] Z. Zhu und I. Brilakis, „Parameter optimization for automated concrete detection in image data.“, *Journal of Automation in Construction*, Nr. 19, S. 944–953, 2010.
- [53] M. Golparvar-Fard, J. Bohn, J. Teizer, S. Savarese und F. Peña-Mora, „Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques“, *Automation in Construction*, Jg. 20, Nr. 8, S. 1143–1155, 2011, doi: 10.1016/j.autcon.2011.04.016.
- [54] D. H. Shin und P. S. Dunston, „Technology development needs for advancing Augmented Reality-based inspection“, *Automation in Construction*, Jg. 19, Nr. 2, S. 169–182, 2010, doi: 10.1016/j.autcon.2009.11.001.
- [55] Z. Zhu, S. German und I. Brilakis, „Visual retrieval of concrete crack properties for automated post-earthquake structural safety evaluation“, *Automation in Construction*, Jg. 20, Nr. 7, S. 874–883, 2011, doi: 10.1016/j.autcon.2011.03.004.
- [56] L. F. Gül, N. Gu und A. Williams, „Virtual worlds as a constructivist learning platform: evaluations of 3D virtual worlds on design teaching and learning“, *Journal of Information Technology in Construction*, Nr. 13, S. 578–593, 2008.
- [57] U. Isikdag und J. Underwood, „Two design patterns for facilitating Building Information Model-based synchronous collaboration“, *Automation in Construction*, Jg. 19, Nr. 5, S. 544–553, 2010, doi: 10.1016/j.autcon.2009.11.006.
- [58] M. Golparvar-Fard, F. Peña-Mora und S. Savarese, „Application of D4AR A 4-Dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication“, *Journal of Information Technology in Construction (ITCon)*, Nr. 14, S. 129–153, 2009. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.itcon.org/paper/2009/13>
- [59] M. Ghobadi und S. M.E. Sepasgozar, „An Investigation of Virtual Reality Technology Adoption in the Construction Industry“ in *Smart Cities and Construction Technologies*, S. Shirowzhan und K. Zhang, Hg., *IntechOpen*, 2020, doi: 10.5772/intechopen.91351.
- [60] G. Ozcan-Deniz, „Expanding applications of virtual reality in construction industry: A multiple case study approach“, *JCEMI*, Jg. 2, Nr. 2, S. 48–66, 2019, doi: 10.31462/jcemi.2019.02048066.
- [61] C.-L. Ho und R.-J. Dzung, „Construction safety training via e-Learning: Learning effectiveness and user satisfaction“, *Computers & Education*, Jg. 55, Nr. 2, S. 858–867, 2010, doi: 10.1016/j.compedu.2010.03.017.
- [62] R. Sacks, A. Perlman und R. Barak, „Construction safety training using immersive virtual reality“, *Construction Management and Economics*, Jg. 31, Nr. 9, S. 1005–1017, 2013, doi: 10.1080/01446193.2013.828844.
- [63] D. Zhao und J. Lucas, „Virtual reality simulation for construction safety promotion“ (eng), *International journal of injury control and safety promotion*, Jg. 22, Nr. 1, S. 57–67, 2015, doi: 10.1080/17457300.2013.861853.
- [64] S. Ahmed, „A Review on Using Opportunities of Augmented Reality and Virtual Reality in Construction Project Management“, *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal*, Jg. 11, Nr. 1, S. 1839–1852, 2019.
- [65] F. N. Catbas et al., „Extended Reality (XR) for Condition Assessment of Civil Engineering Structures: A Literature Review“ (eng), *Sensors (Basel, Switzerland)*, Jg. 22, Nr. 23, 2022, doi: 10.3390/s22239560.
- [66] M. Al-Adhami, S. Wu und M. Ling, „Extended Reality Approach for Construction Quality Control“ in *CIB World Building Congress*, Hong Kong, 2019.
- [67] D. Salinas, F. Muñoz-La Rivera und J. Mora-Serrano, „Critical Analysis of the Evaluation Methods of Extended Reality (XR) Experiences for Construction Safety“ (eng), *International journal of environmental research and public health*, Jg. 19, Nr. 22, 2022, doi: 10.3390/ijerph192215272.
- [68] S. Alizadehsalehi und I. Yitmen, „Digital twin-based progress monitoring management model through reality capture to extended reality technologies (DRX)“, *SASBE*, Jg. 12, Nr. 1, S. 200–236, 2023, doi: 10.1108/SASBE-01-2021-0016.

# Proaktive Gestaltung und Steuerung der Kultur in Bauvorhaben als Aufgabe des bauherrnseitigen Projektmanagements

## Proactive design and control of culture in construction projects as a project management responsibility of the client

Paul Christian John, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb,  
76131 Karlsruhe, christian.john@kit.edu

Ana Schilling Miguel, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb,  
76131 Karlsruhe, ana.miguel@kit.edu

### Kurzfassung

Das Verhalten der Projektbeteiligten wird maßgeblich durch die Projektkultur geprägt. Entsprechend hängt auch der Erfolg einer Bauprojekts in hohem Maße von den Prägungen der entsprechenden Kultur ab. Ein angemessenes Kulturmanagement im Kontext der Baubranche fehlt jedoch trotz vielfach betonter Notwendigkeit bislang. In diesem Beitrag erläutern wir den (Projekt-)Kulturbegriff im organisationalen Kontext für ein besseres Verständnis dieses Phänomens. Darüber hinaus stellen wir bestehende Ansätze zur Gestaltung und Steuerung einer Kultur aus der Managementlehre vor. Eine Übertragung auf Bauprojekte ist jedoch nicht ohne weiteres möglich, da sich diese im Hinblick auf Kultur in einigen Aspekten maßgeblich von Unternehmen unterscheiden – entsprechende Herausforderungen werden diesbezüglich diskutiert. Auf Basis der Erkenntnisse schlagen wir ein Kulturmanagement vor. Dieses muss aufgrund der Rolle und Durchsetzungskompetenz Teil des bauherrnseitigen Projektmanagements sein. Hierzu werden erste denkbare Tätigkeitsfelder angesprochen. Kulturmanagement verspricht einen positiven Beitrag zu erfolgreicher Abwicklung von Bauvorhaben.

### Abstract

The behaviour of those involved in a project is significantly influenced by the project culture. Accordingly, the success of a construction project also depends to a large extent on the imprint of the corresponding culture. However, despite the frequently emphasised necessity, appropriate cultural management in the context of the construction industry has been lacking up to now. In this paper we explain the concept of (project) culture in an organisational context for a better understanding of this phenomenon. In addition, we present existing approaches to the design and control of a culture from management theory. However, a transfer to construction projects is not possible without further ado, as these differ significantly from companies in some aspects with regard to culture - corresponding challenges are discussed in this regard. Based on the findings, we propose a culture management. Because of its role and enforcement competence, this must be part of the project management on the client's side. The first conceivable fields of activity are addressed. Cultural management promises a positive contribution to the successful completion of building projects.

## 1 Einleitung

Bauprojekte sind im Vergleich zu Projekten anderer Branchen verhältnismäßig personalintensiv. Darüber hinaus ist die Unternehmenslandschaft im Bauwesen durch eine hohe fachliche Spezialisierung und eine starke Fragmentierung geprägt. Dies hat in Kombination zur Folge, dass in einem Bauprojekt viele Beteiligte aus zahlreichen Unternehmen und Fachdisziplinen zusammenarbeiten. Der typisch starke Preiswettbewerb im deutschen Bauwesen sowie die langen Projektlaufzeiten führen wiederum dazu, dass bei jedem neuen Bauvorhaben im Regelfall auch neue Konstellationen hinsichtlich der Projektbeteiligten entstehen. Die Zusammenarbeit in diesen neuen Konstellationen ist dabei (vor allem zu Beginn eines Vorhabens) von der

Unterschiedlichkeit der Arbeitsweisen, Wertvorstellungen und (unternehmerisch vertretenen) Interessen geprägt, die jeder Beteiligte im Projekt durch sein Verhalten einbringt. Dieses individuelle Verhalten bzw. die diesem Verhalten zugrundeliegenden Werte und Interessen sind das Ergebnis einer kulturellen Sozialisation im jeweiligen Stammunternehmen (= Unternehmenskultur) [17, S. 151; 24, S. 18 f.; 21, S. 361; 5, S. 489].

Diese Unterschiedlichkeit führt unter anderem zu einem hohen Konfliktrisiko in der Projektabwicklung. Die Erfahrung diesbezüglich zeigt, dass insbesondere zwischenmenschlich-unternehmensübergreifende Konflikte innerhalb von Bauprojekten stark eskalieren können. Dadurch wird der Erfolg des gesamten Vorhabens gefährdet. Darüber hinaus können unterschiedliche Verhaltensweisen zu

DOI: 10.17185/dupublico/79109



Missverständnissen führen, die einerseits Fehler, andererseits ein angespanntes Arbeitsklima provozieren. Letzteres wiederum wirkt sich tendenziell negativ auf die Zusammenarbeit<sup>1</sup> sowie die Leistungsbereitschaft der Projektbeteiligten<sup>2</sup> aus. Infolgedessen verschlechtert sich die Qualität der kollektiven sowie der individuellen Leistungserbringung bzw. die Qualität des Leistungsergebnisses – und damit die Wahrscheinlichkeit auf eine erfolgreiche Projektabwicklung [32, S. 11 f.; 31, S. 573; 33, S. 143 f.].

In Anbetracht der Risiken durch die soziale Komplexität in Bauprojekten ist es für den Bauherrn essenziell, proaktiv auf die potenziell kritische Zusammenarbeit im Projekt positiv einzuwirken. Sämtliche Schnittstellen der Zusammenarbeit sollten hierbei umsichtig organisiert sowie begleitet werden. Auch ist diesbezüglich während der gesamten Projektabwicklung ein harmonisches Verhalten zwischen den Beteiligten für eine produktive Arbeitsatmosphäre sicherzustellen. Das Verhalten der Projektbeteiligten im Verlauf der Projektabwicklung wird dabei in großen Teilen durch die im Projekt vorliegende Kultur geprägt [u. a. 5, S. 464].

Es liegt also im eigenen wirtschaftlichen Interesse des Bauherrn bzw. dessen Vertretung (bauherrnseitiges Projektmanagement), die Projektkultur als erfolgskritisches Element der Projektabwicklung proaktiv zu gestalten und zu steuern. So sollen negative Dynamiken und ein potenziell folgender Schaden für das Projekt vermieden werden. In diesem Zusammenhang gilt es als allgemein anerkannt, dass nur der Bauherr (vertreten in der Rolle des Projektleiters oder des externen Projektmanagers) durch seine zentrale Funktion im Projekt und seine direkten Vertragsbeziehungen zu den Hauptakteuren in der Lage ist, die Projektkultur übergeordnet zu beeinflussen – ohne dabei der Mitwirkung von maßgeblichen Projektbeteiligten die Bedeutung abzuspüren [21, S. 362; 23, S. 315; 9, 188].

Viele Managementwissenschaftler sehen darüber hinaus im „Kulturmanagement“ nicht nur die Abwendung von Risiken, sondern auch Potenziale für die Projektabwicklung. So haben bereits mehrere Studien aufgezeigt, dass kollaborative und partizipative Projektkulturen durch den projektdienlichen Einfluss auf das Verhalten der Beteiligten einen positiven Effekt auf das Projektergebnis haben können [22, S. 140 f.; 30; 29, S. 162; 9, S. 183; 1].

Dennoch ist ein Kulturmanagement in der Projektpraxis im Bauwesen bislang kaum zu beobachten – im Management wird weiterhin üblicherweise auf die Steuerung durch das Einbringen formal-rationaler Regelungen zurückgegriffen [9, S. 193; 25, S. 895]. Dieser Tatbestand könnte sich u. a. durch folgende Ursachen plausibilisieren lassen:

- Der temporäre Charakter von Projekten könnte zu einer grundsätzlichen Unterschätzung des Kultureinflusses auf den Projekterfolg führen.

- Der für Bauprojekte typischerweise hohe Zeitdruck könnte ein zeitliches Kapazitätsdefizit bzw. eine fehlende Priorisierung für derartige soziale (vermeintlich „weiche“) Aspekte erklären.
- Die überwiegend bzw. oftmals ausschließlich technisch-methodisch orientierte Ausbildung im Projektmanagement erzeugt kein Bewusstsein hierfür.
- Die konservative und konfliktreiche Kultur im Bauwesen könnte ein Grund dafür sein, dass derartige Konzepte kategorisch eher abgelehnt werden.

Wir sprechen uns auf Basis dieser Herleitung stark für eine bewusste und proaktive Integration von Kulturmanagement in Bauprojekten bzw. im Aufgabenfeld des bauherrnseitigen Projektmanagements aus. In diesem Zuge bestehen jedoch die Herausforderungen, dass überwiegend ein greifbares Verständnis für Projektkultur fehlt und kaum geeignete Ansätze für das Gestalten und Steuern einer entsprechend produktiven Projektkultur vorzuliegen scheinen.

In dieser Publikation führen wir daher in das Konzept von Kultur im organisationalen sowie projektspezifischen Kontext ein und stellen auf Basis einer Recherche in verwandten Disziplinen bestehende Möglichkeiten zum Kulturmanagement dar. Darüber hinaus diskutieren wir eine Übertragung dieser Ansätze in die Projektabwicklung. Dadurch wird sowohl ein theoretischer Mehrwert für die Forschung bezüglich des *Faktor Mensch* im Bau-Projektmanagement generiert als auch ein praktischer Nutzen für die Projektabwicklung.

Folgender Aufbau liegt diesem Beitrag zugrunde: In Kapitel 2 werden zunächst die theoretischen Grundlagen ausgeführt, indem eine Einordnung und Definition des (Projekt-)Kulturbegriffs auf Basis der Erkenntnisse aus der Arbeits- & Organisationspsychologie dargestellt sowie der Status Quo in Bauprojekten betrachtet werden. Kapitel 3 zeigt Ansätze aus der Managementlehre auf. In Kapitel 4 diskutieren wir eine Übertragung dieser Ansätze auf den Projektkontext im Bauwesen sowie mögliche Herausforderungen hierbei und Kapitel 5 schließt unseren Beitrag mit einer zusammenfassenden Schlussbetrachtung sowie einem Ausblick auf weiterführende Forschungsideen ab.

## 2 Grundlagen zur Projektkultur

### **Definition des (Projekt-)Kulturbegriffs**

Überall dort, wo es soziale Systeme bzw. Gruppen von Menschen gibt, besteht immer eine Kultur – somit auch in Unternehmen und Projekten [31, S. 570; 25, S. 895; 26, S. 317; 9, S. 193].

<sup>1</sup> Dadurch, dass Kommunikation gar nicht oder nur rudimentär stattfindet und dadurch oft missverständlich ist.

<sup>2</sup> Dies äußert sich üblicherweise in mangelndem Engagement, in einer demotivierten Arbeitshaltung, einer Zunahme an Krankheitstagen oder sogar in Kündigungen.

*Kultur* ist ein sozialtheoretisches Konstrukt<sup>3</sup>, das das Phänomen des Zustandekommens eines kollektiv-prägenden und typischen Verhaltens in einer Gruppe von Menschen erklärt. Kultur kann somit als ein impliziter, von einer Gruppe internalisierter, weitestgehend gelebter und anerkannter verhaltensprägender Maßstab bezeichnet werden. Dieser wird auch neuen Mitgliedern einer Gruppe explizit oder implizit vermittelt [24]. Der Kulturwissenschaftler HOFSTEDE spricht daher auch von Kultur als einer „kollektiven Programmierung“. Oberflächlich zeigt sich eine (Projekt-)Kultur darin, wie Handlungen in einer Gruppe üblicherweise durchgeführt werden<sup>4</sup> – darüber hinaus beeinflusst Kultur aber auch, was, wann, von wem durchgeführt wird [32, S. 12]. Man könnte eine Kultur daher als die Summe aller kollektiven Verhaltensgewohnheiten bezeichnen.

Das Kulturkonstrukt lässt sich dabei auf ein weitestgehend gemeinsames Werteverständnis in einer Gruppe zurückführen, das kontinuierlich durch das Verhalten der Menschen in der entsprechenden Gruppe verändert wird. Aus diesem Grund wird hier auch von einer Dualitätsbeziehung gesprochen: Die Kultur beeinflusst das menschliche Verhalten in einer Gruppe und das menschliche Verhalten beeinflusst wiederum bei regelmäßiger Wiederholung durch einen großen Teil der Gruppe die Kultur derselben [25, S. 930 f.].

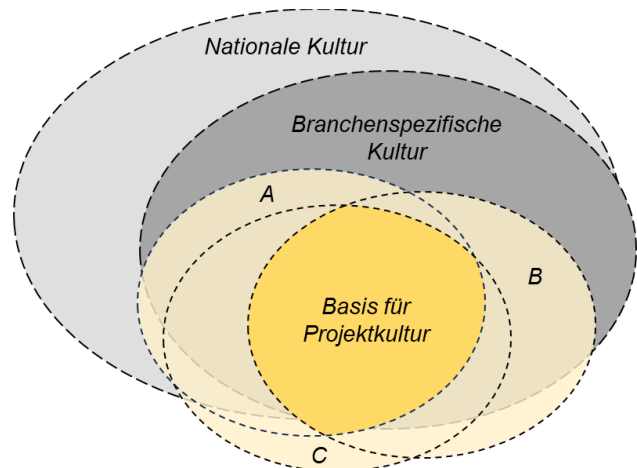
In den 1980er-Jahren haben Forschende im Kontext der Organisationsentwicklung hierbei das Potenzial für die Unternehmensführung erkannt: eine Einfluss- und Steuerungsgröße für das kollektive Verhalten der Mitarbeiter [25, S. 900 u. 913 u. 957; 29, S. 140]. Infolgedessen wurde seither untersucht, wie sich Kultur als Führungsinstrument im Unternehmenskontext nutzen lässt, um bei den Mitarbeitern ein organisationsdienliches und produktives Verhalten sicherzustellen [27, S. 605].

Das Management von Unternehmenskultur erfüllt demnach einerseits die Funktion der übergeordneten Koordination, indem sie das Verhalten der Mitarbeiter auf implizite Weise prägt bzw. steuert. Andererseits erhöht sich durch den iterativen Prozess der Vereinheitlichung von Verhalten durch den kollektiven Maßstab aus der Kultur das Zugehörigkeitsgefühl der Mitarbeiter zu der entsprechenden Gruppe – diese Identifikationsbildung erhöht wiederum die individuelle und kollektive Leistungsbereitschaft [7, S. 150; 25, S. 908].

Im Kontext von Unternehmens- und Projektkultur ist es wichtig zu verstehen, dass jeder Mitarbeiter bzw. Projektbeteiligte in mehreren Kulturen sozialisiert ist. Somit wird

dessen Verhalten von mehreren sich überlagernden Kulturen (z. B. nationale Kulturen, Branchenkulturen oder Organisationskulturen) beeinflusst (siehe **Bild 1**). Diese stehen wiederum in einem hierarchischen Verhältnis zueinander und beeinflussen sich dabei gegenseitig. Hierarchisch untergeordnete Kulturen werden dabei als *Subkulturen* bezeichnet. Diese bilden sich innerhalb einer übergeordneten Kultur und sind entsprechend von dieser geprägt. Sie können sich jedoch auch bis zu einem gewissen Grad in entgegengesetzte Richtungen entwickeln und unabhängig voneinander wirken [31, S. 574; 33, S. 690; 27, S. 607; 25, S. 931–934; 16, S. 207]. Ein weiteres, oftmals nicht beachtetes Beispiel für eine übergeordnete Kultur-Ebene ist der Beruf [32, S. 14].

Eine Projektkultur, insbesondere bei externen, d. h. unternehmensübergreifenden Projekten, ist eine besondere Form einer Subkultur. Hierbei wirken wesentlich mehr kulturelle Einflüsse aus verschiedenen Unternehmen und sonstigen Kontexten auf die Zusammenarbeit und das Miteinander im entsprechenden Projekt ein (siehe Kap. 1) [28, S. 938]. Generell lässt sich dabei feststellen, dass die Schnittmenge bezüglich der üblichen Verhaltensweisen und generellen Wertvorstellungen der unterschiedlichen Projektbeteiligten-Unternehmen (in **Bild 1** als A, B und C gekennzeichnet) eine entsprechende Basis für die Projektkultur bilden.



**Bild 1** Kultur-Hierarchie [in Anlehnung an 18, S. 41 und 51]

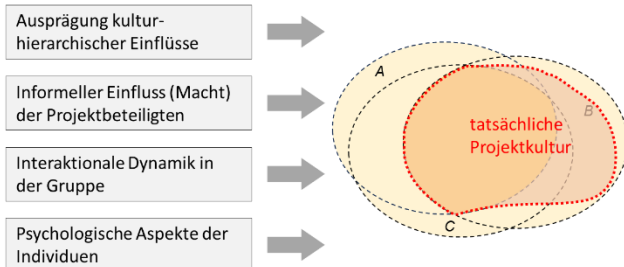
Durch verschiedene Faktoren formt sich ausgehend von dieser Basis die tatsächliche Projektkultur – siehe **Bild 2**. Diese wird insbesondere durch die Ausprägung übergeordneter Kulturen, durch den informellen Einfluss (= Macht) einzelner Projektbeteiligter sowie durch die zwischenmenschlichen Interaktionen in der Gruppe und die „Chemie“ hierbei (operationale Einflüsse) beeinflusst.

<sup>3</sup> Im organisationalen Kontext hat sich hiermit insbesondere die Arbeits- und Organisationspsychologie auseinandergesetzt. Die A&O-Psychologie ist eine Teildisziplin der Psychologie und fokussiert sich auf die menschliche Arbeit in Organisationen. Dabei stellt sie das menschliche Verhalten im organisationalen Kontext in den Mittelpunkt. Sie betrachtet dabei sowohl die

Individuen selbst als auch ihre Interaktionen untereinander in Gruppen [15, S. 46; 34, S. 361].

<sup>4</sup> Kultur kann darüber hinaus über viele Medien kommuniziert werden: Physikalische Objekte, Menschen („Helden“), Sprache (v. a. Umgangston und Slogan) – siehe hierzu auch das Dreiebenen-Modell nach EDGAR SCHEIN

Auch individuelle psychologische Aspekte (mentale Kapazität, Offenheit, Reflexionsvermögen etc.) wirken sich maßgeblich auf den Verlauf der Kulturentwicklung aus. So gibt es demnach verschiedene Einflüsse in unterschiedlicher Ausprägung, die primär das Verhalten innerhalb der Gruppe beeinflussen (Gruppendynamik). So formt sich die Projektkultur erfahrungsgemäß zugunsten der „stärkeren“ Unternehmen(svertreter) [27, S. 605; 23].



**Bild 2** Einflüsse auf Projektkultur

Je nach Hierarchieebene der Kultur und Intensität der Sozialisation ist die kulturelle Prägung des individuellen menschlichen Verhaltens mal stärker und mal schwächer – HEINEN spricht diesbezüglich von dem *Verankerungsgrad* einer Kultur: Je stärker die Verankerung, desto stärker ist auch die verhaltensbeeinflussende Wirkung der Kultur [25, S. 909 f.]. Dies hat den Vorteil, dass auch eine besonders stark ausgeprägte Projektkultur, die hierarchisch z. B. stark unter dem Einfluss einer spezifischen Landes- und Organisationskultur steht, deren Einfluss überwinden kann [35].

### Status Quo zur Kultur in Bauvorhaben

Eine Besonderheit der Kultur von Bauvorhaben ist, dass sich diese unter dem Einfluss vieler verschiedener kultur-hierarchischer Einflüsse aus den verschiedenen Organisationen der Projektbeteiligten bildet [9, S. 185]. Dies führt oftmals zu „schwachen“ Projektkulturen, da nur schwer ein gemeinsamer Nenner zu finden ist. Als weitere Besonderheit bezüglich der Kultur in Bauvorhaben kommt eine oftmals multikulturelle Zusammensetzung der Beteiligten hinzu. Diese verstärkt den Einfluss der (inter)nationalen Kulturebene bei der Entwicklung einer Projektkultur.

Bezüglich der Branchenkultur, die sich unmittelbar in den jeweiligen Projektkulturen niederschlägt, zeigen HONG et al. [12] auf, dass das Miteinander von gegenläufigen Interessen, fragmentierten Ansätzen und konfrontativen Verhältnissen gekennzeichnet ist. Dies führt dazu, dass die Zusammenarbeit in Bauprojekten typischerweise sehr konfliktbehaftet ist [9]. Derartige Konflikte können schnell eskalieren und dadurch hohe Kosten für die Beteiligten verursachen. Kann der Konflikt nicht auf dem Verhandlungsweg gelöst werden, treten die Beteiligten häufig

unmittelbar an staatliche Gerichte heran. Dies führt zu einer hohen Zahl an gerichtlichen Auseinandersetzungen im Bauwesen [10, S. 23]. Dieser Umstand sowie weitere Faktoren, wie der generell hohe Termindruck in Bauprojekten und der daraus resultierende Arbeitsstress, fördern die im Bauwesen allgegenwärtigen Spannungen zutage.

Aufgrund des damit einhergehenden Projektmisserfolgsrisikos sowie weiterer negativer Auswirkungen (z. B. mentale Gesundheit, Arbeitsunfälle, Unattraktivität der Branche auch für Nachwuchskräfte, schlechte öffentliche Wahrnehmung und Proteste) werden die Stimmen lauter, die einen Kulturwandel hin zu mehr partnerschaftlichem und kollaborativem Arbeiten im Bauwesen fordern [u. a. 4, S. 2; 2]. So lässt sich auch ein steigendes Interesse an alternativen Projektabwicklungsformen, wie der Integrierten Projektabwicklung (IPA), beobachten [11, S. 12 f.]. Ansätze, wie Lean Construction oder agiles Projektmanagement, die ebenfalls soziale Aspekte stärker betonen, werden ebenfalls zunehmend häufiger eingesetzt und fördern damit eine kooperativere Projektkultur [9, S. 184].

## 3 Ansätze aus der Managementlehre

Aufbauend auf den übergeordneten Erkenntnissen der Arbeits- und Organisationspsychologie setzt die Managementlehre bei der konkreten Beeinflussung von Unternehmens- bzw. Projektkulturen an – Ansätze sind insbesondere in der allgemeinen Unternehmensführung, dem Personalmanagement<sup>5</sup> und dem Projektmanagement zu finden.

In der modernen Managementlehre ist man sich der Bedeutung einer positiven Kultur im Unternehmen (bzw. Projekt) inzwischen weitestgehend bewusst. Die zugeschriebene verhältnismäßige Bedeutung davon geht aus einer viel zitierten Aussage von PETER DRUCKER hervor: „*Culture eats strategy for breakfast.*“ (dt.: Kultur isst Strategie zum Frühstück). SCHOLZ [25, S. 949 f.] diskutiert die daraus hervorgehende Notwendigkeit einer Abstimmung von Strategie und Kultur als *Stimmigkeitsprinzip*, um negative Konsequenzen für die Wertschöpfung zu vermeiden. Auch eine Abstimmung zur Umwelt ist wichtig – „*Kultur-Umwelt-Fit*“. Andernfalls kann das zu einem belastenden Spannungsfeld für Projektbeteiligte führen [5, S. 491]. Auch der international anerkannte Projektmanagementstandard ICB 4.0 [S. 61-64] spricht sich daher dafür aus, dass ein Projektmanager kulturelle Einflüsse des Umfelds zu analysieren und auf die Kultur des Projekts abzustimmen hat.

Generell gilt es als anerkannt, dass eine Kultur ein sehr komplexes und schwer zu durchschauendes Konstrukt ist

<sup>5</sup> Strömungen hierbei sind zum Beispiel das Feelgood-Management oder auch Aspekte aus der positiven Psychologie [6, S. 10; 8, S. 13].

(siehe Kap. 2). Bevor daher Maßnahmen umgesetzt werden, die in diese Dynamik eingreifen, gilt es zunächst ein umfassendes Verständnis zu entwickeln. Dieser Prozess wird als Kulturanalyse bezeichnet. Andernfalls könnte dies dazu führen, dass die eingesetzten Maßnahmen nicht funktionieren oder sogar ungewünschte Effekte erzeugen [33, S. 697; 30, S. 572; 27, S. 606]

Bei einer Kulturanalyse ist darauf zu achten, dass die Einflüsse aller einwirkenden Kulturebenen (z. B. Landeskultur<sup>6</sup>, Unternehmenskulturen, weitere Projektkulturen) sowie deren Wechselwirkungen bzw. Beziehungen zueinander entschlüsselt werden [20]. REES empfiehlt dies auch schon vor Beginn einer Zusammenarbeit durchzuführen, um hierbei noch die Möglichkeit zu haben, eine kulturbewusstere Auswahl zu treffen bzw. derartige Aspekte in die Auswahlentscheidung mit einfließen zu lassen – er spricht in diesem Zuge von einer „kulturellen Due Diligence“. Als Methode wird hierfür GARRISONS Dreieckstest empfohlen. Der Test zeigt kulturelle Unterschiede auf und ist die Grundlage für eine sich daran anschließende kulturelle Integrationsplanung. Nach diesem Prinzip wird empfohlen, alle wichtigen Stakeholder zu analysieren, um kulturelle Harmonie sicherzustellen [22, S. 144–146]. DRILLING et al. [5, S. 489] empfehlen diesbezüglich, die Kulturdifferenzen transparent darzustellen und hierüber einen Dialog in der Gruppe zu fördern.

Grundsätzlich sprechen sich viele Autoren im Hinblick auf die Gestaltung und Steuerung der Kultur dafür aus, dass diese nicht direkt, sondern nur indirekt über eine Veränderung des kollektiven Verhaltens bzw. teilweise auch über eine Anpassung des kollektiven Werteverständnisses zu beeinflussen ist [quelle]. Ziel der Beeinflussungsbemühungen ist dabei ein organisationsdienliches und produktives Verhalten in der Gruppe. Damit dies in gelebte Kultur übergehen kann, muss besonders darauf geachtet werden, dass die initiierten Verhaltensweisen von der großen Mehrheit der Beteiligten eines Systems (z. B. Projekt) kontinuierlich umgesetzt werden [29, S. 141] (vergleichbar mit dem Aufbau einer persönlichen Gewohnheit).

Für einen Kulturwandel gibt es nach SCHREYÖGG und KOCH [26, S. 305] drei grundlegende Vorgehensweisen: ohne Einwirkung (= emergent), durch formellen oder informellen Machteingriff oder im Dialog. Sie sprechen sich dabei für den dialogischen Kulturwandel aus. Hierbei wird durch die aktive Einbeziehung der Beteiligten eine nachhaltigere Umsetzung der Verhaltensänderungen wahrscheinlicher (für einen konkreten Ansatz hierzu siehe [14]).

Für die Gestaltung und Steuerung einer Kultur im organisationalen Kontext gibt es eine Vielzahl an diskutierten Maßnahmen in der Literatur. Ein wesentliches Prinzip, das viele der Autoren unterstreichen, ist dabei die Vorbildfunktion der Führungskräfte. Diese müssen den

Kulturwandel verkörpern und vorleben, da sich Mitarbeiter an ihrem Verhalten orientieren [9, S. 188 f.; 15, S. 46; 31, S. 573; 3, S. 111]. STOI und DILLERUP [S. 141] sprechen hierbei sogar von einer „kulturellen Prägung“.

Konkrete Maßnahmen, die eine kollektive Verhaltensänderung herbeiführen sollen, sind beispielsweise das Setzen von Anreizen in Bezug auf gewisse Handlungen bzw. Ergebnisse oder die Anpassung von Beförderungs- und Belohnungskriterien. Auch eine Veränderung von Ressourcenzuteilung kann eine Verhaltensänderung herbeiführen, ebenso wie Workshops, Schulungen und Rollenspiele – hierbei wird oftmals auf eine Veränderung der Zusammenarbeit hingewirkt. Auch konkrete Teambuilding-Initiativen wirken sich positiv auf die Atmosphäre<sup>7</sup> in einer Gruppe und damit auch auf den Umgang miteinander und das Zugehörigkeitsgefühl aus: gemeinsame Mittagspausen, Ausflüge, Feiern zu nicht-beruflichen Anlässen, eine „Du“-Policy sowie ein regelmäßiger Besuch der Führungskraft am Arbeitsplatz (z. B. zur Begrüßung) [31, S. 573; 7, S. 157 f., 3, S. 111 f.].

Durch symbolische Maßnahmen, wie das Einbinden eines Projektlogos, die Bereitstellung bestimmter Räumlichkeiten sowie neuer hochwertiger Geräte und die Einführung projektbezogener Rituale, Mythen und Anekdoten, die die Erfolge des Teams beschreiben, sollen dem Projekt Bedeutung und Identität geben [7, S. 157; 3, S. 111 f.; 25, S. 905–908]. PATZAK und RATTAY [21, S. 363] schlagen in diesem Zusammenhang vor, im Anhang des Projekthandbuchs eine Rubrik „Teamgeschichte: Personen und Ereignisse“ anzulegen und über den Verlauf der Projektabwicklung fortzuschreiben, eine Fotosammlung anzulegen und Projektvideos zu drehen.

Ein weiterer Ansatzpunkt des Kulturmanagements ist die Beeinflussung des Wertesystems in einer Gruppe. Hierzu werden z. B. gemeinsame Werte-Leitbilder und „Spielregeln“ für den Umgang miteinander formuliert und sichtbar ausgelegt [9, S. 187; 15, S. 46; 3, S. 111].

Auch organisatorische Maßnahmen können in Betracht gezogen werden – sollten jedoch aufgrund von oftmals nicht absehbaren und ungewollten Nebenwirkungen vorsichtig durchgeführt werden. Hierunter fallen neben der bereits erwähnten Auswahl der Mitglieder auch deren Versetzung oder Freistellung [31, S. 573]. HAGSHENO [9, S. 189–191] weist auf die Möglichkeit hin, auch über Vertragsklauseln, Strukturen und Prozesse auf das Verhalten der Beteiligten einzuwirken.

Abschließend ist nach MORRIS [19, S. 204] das Bewusstsein für das Bestehen verschiedener Kulturen in einem Projekt sehr wichtig sowie ein darauf aufbauender Respekt füreinander und ein entsprechend integrierendes Verhalten. Darüber hinaus ist auch die Sensibilisierung und die

<sup>6</sup> SAMARAWEEERA und SENARATNE [23] schlagen diesbezüglich vor, das bekannte Kulturmodell nach HOFSTEDDE zu nutzen.

<sup>7</sup> Eine angenehm empfundene Atmosphäre fördert die Bereitschaft zu partnerschaftlich-kollaborativem Verhalten.



Toleranz für kulturelle Verschiedenheit im Projekt von Bedeutung [23].

## 4 Diskussion

Die Forschung von ELBE und PETERS [6] und weitere Autoren heben hervor, dass Organisationskultur und Projektkultur in einigen Belangen große Unterschiede aufweisen. Managementstrategien für die Gestaltung von Unternehmenskulturen können demnach im Projektkontext bei unreflektierter Anwendung an ihre Grenzen stoßen. Nachfolgend werden einige Aspekte aufgegriffen, worin die maßgeblichen Unterschiede insbesondere zum Bauprojekt-kontext liegen.

Grundsätzlich braucht Kulturbildung viel Zeit und Projekte haben eine begrenzte Dauer. So können Maßnahmen aus dem Unternehmenskontext mehr Zeit in Anspruch nehmen als es das Projekt ermöglicht [35; 21].

In Bauprojekten kommen üblicherweise viele Menschen aus verschiedenen Unternehmen zusammen, die unterschiedliche kulturelle Einflüsse mit sich bringen [9, S. 185]. Die Prägung jedes Projektbeteiligten ist damit immer von der Kultur seiner Stammorganisation abhängig [5, S. 489]. Teilweise können diese Kulturen große Unterschiede zueinander oder zur SOLL-Kultur im Projekt aufweisen. Diese mangelhafte System- bzw. Umweltvereinbarkeit wirkt sich negativ auf die Bildung einer starken eigenständigen Projektkultur aus [siehe 33, S. 697 f.], weshalb von Wertevorstellungen der Passung von Wertevorstellungen im Auswahl- bzw. Vergabeprozess eine größere Bedeutung beigemessen werden sollte. Auch die unterschiedlichen Zeitpunkte der Einbindung von Beteiligten über den Verlauf der Projektabwicklung führt dazu, dass die Bildung der Projektkultur immer wieder im Prozess „zurückgeworfen“ wird. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn wichtige Beteiligte erst im späteren Projektverlauf hinzukommen, wie beispielsweise große Bauunternehmen [35; 9, S. 186].

Das Vertragsverhältnis der Projektbeteiligten zum Bauherrn führt zudem zu einem anderen Verhältnis zwischen bauherrnseitigem Projektmanagement und dem jeweiligen Unternehmen, als es innerhalb eines Unternehmens zu einer Führungskraft vorliegt. Hierdurch kann der Einflussbereich des Projektmanagements stark begrenzt sein [6].

Weiter ist durch die Begrenzung der Projektlaufzeit auch die Dauer der Zusammenarbeit eingeschränkt, sodass auch die Teamarbeit oftmals einem „single time effort“ gleicht, wodurch sich keine stabile Projektkultur aufbauen kann (im Gegensatz zu einem „continuing effort“, wie er in Unternehmen vorzufinden ist) [23, S. 319].

Daher scheint es verständlich, dass es als eine große Herausforderung wahrgenommen wird, in Bauprojekten eine stabile und positive Projektkultur zu entwickeln und aufrechtzuerhalten. Im Umkehrschluss bedeutet dieser

Umstand jedoch auch, dass man sich im Projektmanagement mit diesem Thema intensiver beschäftigen sollte (was bislang noch nicht stattfindet).

Wir schlagen auf dieser Basis daher die Einführung eines systematischen Kulturmanagements als Projektmanagementaufgabe des Bauherrn vor. Einige Autoren adressieren außerhalb des Bauwesens bereits explizit die Verantwortung des Projektmanagements für die Gestaltung von einer erfolgsfördernden Projektkultur [z. B. 21, S. 27]. Das Management der Kultur hat nach den aufgeführten Erkenntnissen insbesondere zwei Kernaufgaben, um einerseits präventiv Konflikte, Missverständnisse und eine schlechte Arbeitsatmosphäre zu vermeiden und andererseits proaktiv ein produktives Verhalten der Projektbeteiligten herbeizuführen:

- Das Definieren und Gestalten einer SOLL-Projektkultur zum Projektstart.
- Das Aufrechterhalten und Steuern/Weiterentwickeln der Projektkultur im Projektverlauf.

Die Tätigkeiten würden sich entsprechend auf folgende Aspekte beziehen: das Verstehen, Darstellen und Diskutieren der kulturellen Einflüsse, das Analysieren der vorherrschenden IST-Kultur im Projekt sowie das Gestalten und Steuern dieser. Letzteres kann dabei aktiv (z. B. über die bewusste Auswahl von Beteiligten, das Schaffen verhaltenslenkender Strukturen oder das Harmonisieren von Kulturen) oder passiv (z. B. toleranten Umgang mit unterschiedlichen Kulturen prägen) erfolgen.

## 5 Schlussbetrachtung

In der vorliegenden Arbeit wurden die komplexen Zusammenhänge und Herausforderungen der Organisations- und Projektkultur im Kontext von Bauvorhaben eingehend untersucht. Zunächst wurde in Kapitel 1 die allgemeine Bedeutung einer positiven Kultur im Kontext von sozial komplexen Bauvorhaben dargelegt und wie sie sich als unsichtbares, aber prägendes Element in der Abwicklung eines Bauvorhabens manifestiert. Es wird hervorgehoben, dass der Bauherr ein wirtschaftliches Interesse daran hat, die Projektkultur proaktiv zu steuern, um negative Dynamiken zu vermeiden.

Kapitel 2 beschäftigt sich mit den Grundlagen des Kulturkonstrukts. Kultur im organisationalen Kontext wird definiert als die das kollektive Verhalten prägenden Normen und Wertvorstellungen einer Gruppe. Im Kontext der Organisationsentwicklung wird Kultur als Einfluss- und Steuerungsgröße für das Verhalten der Mitarbeiter angesehen. Kultur unterliegt dabei einem Dualitätsprinzip: Die Kultur prägt das Verhalten und umgekehrt. Darüber hinaus sind Menschen in mehreren Kulturen sozialisiert, die sich hierarchisch und gegenseitig beeinflussen. Projektkulturen sind dabei spezielle Subkulturen, die durch eine Vielzahl von Einflüssen geformt werden. Im Bauwesen ist dies besonders komplex aufgrund vielfältiger kulturhierarchischer

Einflüsse. Die übliche Projektkultur im Bauwesen ist konfliktbehaftet und problematisch. Dies löst zunehmend stärkere Forderungen nach einem Kulturwandel aus.

Kapitel 3 stellt diesbezüglich Ansätze zum Kulturwandel aus der Managementlehre dar. Vor dem Durchführen von Maßnahmen sollte darauf geachtet werden, dass die vorherrschende Kultur sowie die prägenden kulturellen Einflüsse sorgfältig analysiert werden. Die Gestaltung und Steuerung kann darauf abgestimmt über verschiedene Möglichkeiten stattfinden: Von orientierungsstiftendem Verhalten der Führungskräfte bis hin zu Anreizsystemen und strukturellen Maßnahmen. Auch symbolische Aspekte, wie das Aufstellen gemeinsamer Werte-Leitbilder, tragen hierzu bei. Generell sollte jedoch immer ein Bewusstsein für kulturelle Unterschiede sowie eine Toleranz diesen gegenüber im Projekt vorherrschen.

Im Kontext der Bauprojekte wird, wie in Kapitel 4 erörtert, die Komplexität zusätzlich durch die temporäre und dynamische Natur der Projekte sowie die Vielfalt der beteiligten Stakeholder erhöht. Insbesondere die begrenzte Laufzeit der Projekte stellt eine Herausforderung für die Ausbildung einer stabilen Projektkultur dar. Hinzu kommt die Komplexität der Vertragsverhältnisse zwischen den Projektbeteiligten und dem Bauherrn, die ein weiteres Hindernis für die Gestaltung einer robusten Projektkultur darstellen können.

Die Einführung eines systematischen Kulturmanagements als explizite Aufgabe des bauherrnseitigen Projektmanagements sollte sich dieser Problematik annehmen. Dabei sind insbesondere zwei Kernaufgaben zu erfüllen: die Gestaltung einer angestrebten Projektkultur zu Projektbeginn und die fortlaufende Anpassung und Steuerung dieser Kultur im Laufe des Projekts.

Insgesamt zeigt die Arbeit, dass eine systematische Auseinandersetzung mit der Thematik der Organisations- und Projektkultur nicht nur sinnvoll, sondern für den Erfolg von Bauprojekten essenziell ist. Dabei gilt es, sowohl proaktive als auch adaptive Ansätze zu verfolgen, um eine Kultur zu schaffen, die den Herausforderungen des jeweiligen Bauprojekts gerecht wird und zur erfolgreichen Realisierung beiträgt.

## 6 Literatur

- [1] Arbeitsgruppe „Partnerschaftliche Projektkultur als wirtschaftlicher Erfolgsfaktor“ als Teil der IG Lebenszyklus Bau: *Partnerschaftliche Projektkultur: Die Grundlage für ihren Projekterfolg*. Online verfügbar unter: [www.ig-lebenszyklus.at](http://www.ig-lebenszyklus.at), 2016.
- [2] Baublatt (Hrsg.): *Wir brauchen einen Kulturwandel*, 2017 Interview online verfügbar unter: <https://baublatt.de/wir-brauchen-einen-kulturwandel/> (zuletzt geprüft am 08.09.2023)
- [3] Bea, F.; Scheurer, S.; Hesselmann, S.: *Projektmanagement*. München: UVK Verlag, 2020.
- [4] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.): *Aktionsplan Großprojekte*, 2015. Online verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/Shared-Docs/DE/Anlage/G/reformkommission-bau-grossprojekte-aktionsplan.html> (zuletzt geprüft am 08.09.2023)
- [5] Drilling, C.; Grau, N.; Oswald, A.: *Kultur und Werte*, in: GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V. (Hrsg.): *Kompetenzbasiertes Projektmanagement (PM4): Handbuch für Praxis und Weiterbildung im Projektmanagement – Band 1*. Nürnberg: Eigenverlag, 2019.
- [6] Elbe, M.; Peters, S.: *Die temporäre Organisation: Grundlagen der Kooperation, Gestaltung und Beratung*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2016
- [7] Gareis, R.: *Happy Projects!*. Wien: Manz, 2006.
- [8] Gesing, S.; Weber, U.: *Konzept und Berufsbild des Feeldgood-Managements*. Wiesbaden: Essentials. Springer Fachmedien, 2017.
- [9] Haghsheno, S.: *Ansätze im Bauprojektmanagement zur Etablierung einer kooperativen Projektkultur*, in: Kandel, R.; Kniffka, R. (Hrsg.): *Standpunkt Baurecht: Festschrift für Stefan Leupertz*. Hürth: Werner Verlag, 2021.
- [10] Haghsheno, S; Schilling Miguel, A.: *Zurückhaltende Anwendung von Verfahren der außergerichtlichen Streitbeilegung im Bauwesen – Ursachenforschung und Handlungsempfehlungen*. Bauwirtschaft 1/2019.
- [11] Haghsheno, S.; Schilling Miguel, A.: *IPA-Report 2023. Integrierte Projektabwicklung (IPA) – Entwicklung und Merkmale von IPA-Projekten*, 2023. Online verfügbar unter: <https://lean-ipd.de/wp-content/uploads/2023/08/IPA-Report-2023.pdf> (zuletzt geprüft am 08.09.2023)
- [12] Hong, Y.; Chan, D. W.; Chan, A. P.: *Exploring the applicability of construction partnering in Mainland China: A qualitative study*. Facilities, 30(13–14): 667–694, 2012.
- [13] International Project Management Association (IPMA): *Individual Competence Baseline für Projektmanagement: Version 4.0/Deutsche Fassung*. Nürnberg: GPM-Eigenverlag, 2017.
- [14] John, P. C.; Weissinger, M. M.: *Konzeption eines Projektbeteiligten-Feedbacksystems zur Verbesserung der menschlichen Leistungserbringung bei der Bauprojektentwicklung*, BBB-Assistententreffen, Duisburg, 2023.
- [15] Kauffeld, S.: *Arbeits-, Organisations- und Personalpsychologie*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2014.

- [16] Kieser, A.; Kubicek, H.: (1992): *Organisation*. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1992.
- [17] Kochendörfer, B.; Liebchen, J.; Viering, M.: *Bau-Projekt-Management: Grundlagen und Vorgehensweisen*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021.
- [18] Liker, J.; Hoseus, M.: *Die Toyota-Kultur*. München: FinanzBuch Verlag, 2009.
- [19] Morris, P.: *Reconstruction Project Management*. West Sussex: John Wiley & Sons, 2013.
- [20] Ofori, G.; Toor, S.: *Research on cross-cultural leadership and management in construction: A review for future directions*. Construction Management and Economics, 27 (2), 2009.
- [21] Patzak, G.; Rattay, G.: *Projektmanagement: Projekte, Projektportfolios, Programme und projektorientierte Unternehmen*. Wien: Linde Verlag, 2018.
- [22] Rees, D.: *Managing Culture*, in: Turner, J. R.: *People in Project Management*. Burlington: Gower Publishing, 2003.
- [23] Samaraweera, A.; Senaratne, S.: *Understanding Project Culture in Construction: A Literature Synthesis*. World Construction Conference 2012 – Global Challenges in Construction Industry, 2012.
- [24] Schein, E.: *Organizational Culture and Leadership*. San Francisco: Jossey-Bass, 2004.
- [25] Scholz, C.: *Personalmanagement: Informationsorientierte und verhaltenstheoretische Grundlagen*. München: Franz Vahlen, 2014.
- [26] Schreyögg, G.; Geiger, D.: *Organisation. Grundlagen moderner Organisationsgestaltung*. 6. Auflage. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [27] Schreyögg, G.; Koch, J.: *Management: Grundlagen der Unternehmensführung: Konzepte – Funktionen – Fallstudien*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2020.
- [28] Spang, K.; Elbaz, A.: *Projektkultur. Etablierung einer kooperativen Projektkultur in Verkehrsinfrastrukturprojekten*. In: Spang, K: *Projektmanagement von Verkehrsinfrastrukturprojekten*. Berlin: Springer Vieweg Verlag, 2022.
- [29] Stoi, R.; Dillerup, R.: *Unternehmensführung: Erfolgreich durch modernes Management & Leadership*. München: Franz Vahlen, 2022.
- [30] Thomas, R.; Marossezeky, M.; Karim, K.; Davis, S.; McGeorge, D.: *The importance of project culture in achieving quality outcomes in construction*. Proceedings of IGLC-10, 2002.
- [31] Thommen, J.-P.; Achleitner, A.-K.; Gilbert, D.; Hachmeister, D.; Jarchow, S.; Kaiser, G.: *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2020.
- [32] Tjihuis, W.; Fellows, R.: *Culture in International Construction*. Abingdon: Spon Press, 2012.
- [33] Töpfer, A.: *Betriebswirtschaftslehre: Anwendungs- und prozessorientierte Grundlagen*. Berlin u. a.: Springer Verlag, 2007.
- [34] von Rosenstiel, L.: *Grundlagen der Organisationspsychologie*. Stuttgart; Schäffer-Poeschel Verlag, 1992.
- [35] Zuo, J.; Zillante, G.: *Project Culture Within Construction Projects: A Literature Review*. Proceedings of IGLC13, 2005.
- [36] Zuo, J.; Zillante, G.: *Construction Project Culture cs. National Culture*. International Conference on Multi National Construction Projects, 2008.

# **Moderne Arbeitsmodule in der Baupraxis: Über den Validierungserfolg entwickelter Arbeitsmodule der Bergischen Universität Wuppertal**

Prof. Manfred Helmus, Bergische Universität Wuppertal, Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal, helmus@uni-wuppertal.de

Robin Becker, Bergische Universität Wuppertal, Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal, rbecker@uni-wuppertal.de

Nane Roetmann, Bergische Universität Wuppertal, Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal, roetmann@uni-wuppertal.de

## **Kurzfassung**

Die Baubranche leidet unter einem Mangel an Nachwuchskräften für die Bauleitung. Eine deutschlandweite Umfrage unter Studierenden verdeutlicht jedoch, dass der Beruf an Attraktivität verliert. Die Auseinandersetzung zwischen der traditionellen Berufsvorstellung und den aktuellen Ansprüchen der aufstrebenden Fachkräfte an moderne, flexible Arbeitsmodelle bedarf einer Lösungsfindung. Die Zukunftsrobustheit kleiner und mittelständischer Bauunternehmen erfordert eine erhöhte Anpassungsfähigkeit. Nachdem bereits ein vorangegangener Bericht die Präferenzen der jüngeren Generation hinsichtlich der Bauleitung erörterte und diese mit den Standpunkten von Geschäftsführern, Kammern, Verbänden und aktiven Bauleitern abglich, konzentriert sich der nachfolgende Bericht auf die Vorstellung der Validierungsergebnisse der entwickelten Arbeitsmodule in der realen Baupraxis.

## **Abstract**

The construction industry suffers from a shortage of junior staff for construction management. However, a nationwide survey among students makes it clear that the profession is becoming less attractive. The conflict between the traditional idea of the profession and the current demands of aspiring professionals for modern, flexible working models requires a solution. The future robustness of small and medium-sized construction companies requires increased adaptability. After a previous report discussed the preferences of the younger generation with regard to construction management and compared these with the viewpoints of managing directors, chambers, associations and active construction managers, the following report concentrates on presenting the validation results of the developed work modules in real construction practice.

## **1 Das Berufsfeld Bauleitung**

Die Bauwirtschaft hat sich als stabiler Arbeitsmarkt und als Instrument zur Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen etabliert. Der bestehende Fachkräftemangel stellt daher aufgrund des demografischen Wandels ein noch größeres Problem dar. [1] Trotz stetig steigender Absolventenzahlen im Bereich Architektur und Bauingenieurwesen können zwei von drei Bauunternehmen ihre offenen Stellen im Bereich der Bauleitung nicht besetzen [Stand 2021]. [2],[3] Vor diesem Hintergrund bieten die aktuellen Arbeitsbedingungen wenig attraktive Rahmenbedingungen für junge, gut ausgebildete Nachwuchskräfte. In der Gesellschaft wird der Beruf der Bauleitung mit viel Stress und wenig Urlaub, unregelmäßigen Arbeitszeiten und einer schlechten Work-Life-Balance assoziiert. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, den aktuellen Status Quo der Beschäftigten und Nachwuchskräfte zu erheben und umsetzbare Empfehlungen für Unternehmen zu entwickeln, die dem aktuellen Trend entgegenwirken und bereits praktische Wirksamkeit gezeigt haben.

## **2 Ergebnisse der Studierendenbefragung und geführten Experteninterviews**

Eine bundesweite Befragung von Studierenden durch die Bergische Universität Wuppertal im Jahr 2021 ergab, dass das Berufsfeld der Bauleitung von Berufseinsteigern als unattraktiv wahrgenommen wird. [4] Persönliche Weiterbildungsmöglichkeiten sind für knapp drei Viertel der Studierenden wichtig, wobei eine spätere Umsetzung auch im Bereich der Bauleitung als möglich angesehen wird. Auch die Flexibilität bei den Arbeitszeiten wird von drei Vierteln aller Absolvent:innen als wichtig für die spätere Berufswahl empfunden. Demgegenüber wird diese Flexibilität von knapp der Hälfte der Studierenden als gering eingeschätzt. Ein hoher Digitalisierungsgrad wird von 75 Prozent der Studierenden für ihr späteres Berufsleben priorisiert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Berufsfeld der Bauleitung für zukünftige Absolventen unattraktiv erscheint, was einen dringenden Handlungsbedarf für Unternehmen aufzeigt.

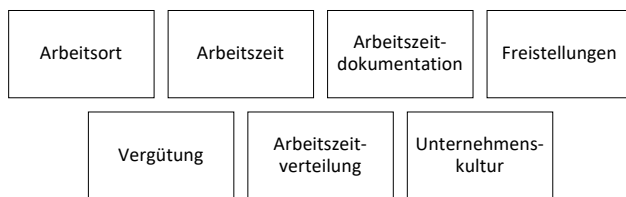
Die befragten Expert:innen bewerten die persönlichen Entwicklungsmöglichkeiten für den Beruf Bauleitung

DOI: 10.17185/dupublico/79140

insgesamt eher positiv. Dazu gehören Aufstiegsmöglichkeiten, Weiterbildung und die Nachwuchsförderung, die insbesondere von den Studierenden als zentral angesehen werden. Der allgemeine Digitalisierungsgrad in der Bauwirtschaft wird von den Befragten eher negativ wahrgenommen. Durch beispielsweise Homeoffice- und Elternzeitlösungen können nach Ansicht der befragten Expert:innen die Arbeitszeit der Beschäftigten in der Bauwirtschaft flexibler gestaltet werden. Als größtes Problem erweist sich die Arbeitsbelastung. Rund 80 Prozent der befragten Bauleiter:innen gaben an, dass sie deutlich mehr als die im Arbeitsvertrag vereinbarte Arbeitszeit arbeiten. Grundsätzlich, so die Expert:innen, sei der Beruf für Nachwuchskräfte nicht attraktiv und nur schwer mit dem Privatleben zu vereinbaren. [5]

### 3 Handlungsempfehlung über Arbeitsmodule für Arbeitgeber

Eine Lösung, um das Berufsfeld der Bauleitung attraktiver zu machen, ist die Entwicklung von Handlungsempfehlungen in Form von Arbeitsmodulen, die für die Beschäftigten große Anreize und eine Belohnung für ihren Einsatz im Berufsfeld bieten. Im Rahmen des laufenden Forschungsprojektes "Moderne Bauleitung" an der Bergischen Universität Wuppertal wurden u.a. die folgenden Module entwickelt.



**Bild 1** Übersicht entwickelter Arbeitsmodule

Das Modul Arbeitsort beschreibt Lösungsansätze zur Flexibilisierung des Arbeitsortes der Beschäftigten in der Bau Praxis. Durch die Gewährung von Homeoffice oder mobilem Arbeiten wird die Vereinbarkeit von Familie und Beruf gefördert und selbstbestimmtes Handeln gestärkt. [6],[7] Eine Flexibilisierung der vertraglichen Arbeitszeiten kann neben den klassischen Vollzeit- oder Teilzeitmodellen auch durch Modelle wie Jobsharing erreicht werden. Bei dieser Paarteilzeit teilen sich zwei oder mehr Beschäftigte einen gemeinsamen Arbeitsplatz oder eine Vollzeitstelle. [8] Die persönliche Verteilung der Arbeitszeit ermöglicht es, starre Arbeitszeiten zu flexibilisieren. Mögliche Formen sind Gleitzeit, Funktionszeit, Vertrauensarbeitszeit und Jahresarbeitszeit. [9] Eine Beurlaubung oder ein Sabbatical ermöglichen es Arbeitnehmenden, beispielsweise nach einem besonders anspruchsvollen Projekt eine Auszeit zu nehmen. Dabei kann zwischen den Varianten unbezahlter und bezahlter Urlaub unterschieden werden. [10] Das Vergütungsmodul kann Mitarbeiterprämien in Form von monetären und nicht-monetären Regelungen umfassen. Zu

den monetären Vergütungsformen gehören unter anderem Boni, Zulagen oder Provisionen. [11]. Darüber hinaus kann die Gesundheit der Mitarbeitenden durch Subventionen gefördert werden. Beispiele sind die Mitgliedschaft im Fitnessstudio, Fahrradleasing oder eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung. [12] Die Arbeitszeitdokumentation beschreibt die genaue Erfassung der geleisteten Arbeitsstunden eines jeden Beschäftigten. Diese Stunden können dann nach verschiedenen Ansätzen abgerechnet werden. Kurzzeitkonten zielen auf einen Bezugs- und Ausgleichszeitraum von bis zu einem Jahr ab, während Langzeitkonten einen längeren Abgrenzungszeitraum vorsehen. [13] Im Hinblick auf die Unternehmenskultur kann grundsätzlich zwischen hierarchischen bzw. formellen und offenen bzw. informellen Unternehmenskulturen unterschieden werden. Hierarchische Kulturen bedeuten unter anderem feste Verantwortungsbereiche und klare Richtlinien. Offene Kulturen beinhalten Vertrauen, Wertschätzung, Feedback, Gleichberechtigung, Teamarbeit und Diversity Management. [14]

### 4 Struktur und Methodik

Um eine umfassende Validierung durchführen zu können, sollte ein breites Spektrum von Unternehmen unterschiedlicher Größe und Branchen berücksichtigt werden. Die Bereitschaft zur Unterstützung und Bereitstellung von Kapazitäten war ein entscheidender Faktor bei der Auswahl der Unternehmen sowie der durchgeführten Validierungen. Dank der äußerst positiven Resonanz auf die Expertenbefragung im Rahmen des Forschungsprojekts konnten jedoch für alle betrachteten Arbeitsmodule geeignete Betriebe gefunden werden. Zur Validierung der Arbeitsmodule wurde eine Kombination aus Experteninterviews und Online-Befragungen eingesetzt. Während der Validierungszeiträume wurden die Online-Befragungen durchgeführt und inhaltlich mit den Experteninterviews abgeglichen. Die Umfragen konzentrierten sich auf die Kommunikation zwischen den Projektteilnehmenden, persönliche Gefühle und die Auswirkungen auf das Privatleben während der Anwendung der Arbeitsmodule. Die Antworten wurden auf abgestuften Antwortskalen von sehr positiv [fünf] bis sehr negativ [eins] gemessen, um die persönlichen Einstellungen zu den verschiedenen Themen zu erfassen. [15] Die Ergebnisse der Befragungen lieferten dann Fragen, die in den Experteninterviews vertieft wurden. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Umstände vor der Anwendung der Arbeitsmodule sowie auf die unterschiedlichen Kommunikationsebenen und Schnittstellen der Teilnehmer während der Validierungsphase gelegt. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Befragung zu persönlichen Befindlichkeiten vor und während der Anwendung der Arbeitsmodule, einschließlich der Einschätzung der Work-Life-Balance und des Privatlebens. Das methodische Vorgehen ist in Abbildung 2 zusammengefasst:



**Bild 2** Validierungskonzept

## 5 Validierungsergebnisse

Die Auswahl der Module beruhte auf einer Kombination aus evidenzbasierten und bedarfsorientierten Kriterien. Es wurden Arbeitsmodule ausgewählt, die ein erhebliches Potenzial zur Erhöhung der Flexibilität und Durchführbarkeit für die Arbeitnehmenden bieten. Ziel war es, so weit wie möglich die Arbeitsmodule zu untersuchen, die die größten Flexibilitätsmöglichkeiten für Arbeitnehmenden bieten und somit die Attraktivität des Berufsfeldes erhöhen. Zu den in den Unternehmen validierten Arbeitsmodellen gehören Jobsharing, das unter das Modul der Arbeitszeitverteilung fällt, die Validierung von Homeoffice (Arbeitsort), Sabbatical (Freistellung) sowie die Arbeitszeitdokumentation.

### 5.1 Validierung Arbeitsmodul: Jobsharing

Das Jobsharing ermöglicht den Bauleitenden eine Flexibilisierung ihrer Arbeitszeiten, was die Vereinbarkeit von Privat- und Berufsleben verbessert und die Attraktivität des Unternehmens für verschiedene Zielgruppen erhöht. Die Validierung des Jobsharing-Arbeitsmoduls dauerte sechs Wochen pro Jobsharer-Gruppe und wurde von Oktober bis Dezember 2022 durchgeführt. Ein Unternehmen stellte für die Validierung zwei Projektteams mit je zwei Bauleitenden zur Verfügung.

Die Interviews wurden mit vier Personen geführt, die im Bereich der Bauleitung tätig und zwischen Mitte 20 und Mitte 30 Jahre alt waren. Die Probanden führten unterschiedliche Varianten der Umsetzung von Jobsharing durch. In der ersten Gruppe hatte jeder Partner abwechselnd den gesamten Freitag und den darauffolgenden Montag als freie Tage genutzt, während in der zweiten Gruppe jeder Proband einen festen freien Tag pro Woche hatte, so dass sie beide eine Vier-Tage-Woche hatten. In beiden Gruppen wurden die Aufgaben auf der Baustelle nach Gewerken aufgeteilt und ein klarer Ansprechpartner vereinbart, um trotz Abwesenheit einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten. Die Probanden gaben an, dass sich die Arbeitsbelastung durch das Jobsharing nicht merklich erhöht hat. Vielmehr wurde eine Effizienzsteigerung durch die verkürzten Arbeitszeiten erkannt und die Arbeitswochen vorausschauender geplant.

Neben der besseren Vereinbarkeit von Privat- und Berufsleben werden die Chancen des Arbeitsmoduls vor allem in der gesteigerten Attraktivität des Berufsfeldes und den damit verbundenen Möglichkeiten der Mitarbeitergewinnung und -bindung gesehen. Darüber hinaus ermöglicht das Jobsharing den Beschäftigten mehr Zeit für Erholung und Freizeit, was wiederum als Präventionsmaßnahme für

Berufskrankheiten wie Burn-Out genutzt werden kann. Als größter Risikofaktor erwies sich die Beziehung zum Tandempartner, da das gegenseitige Vertrauen der Partner:in eine Voraussetzung für den Erfolg von Jobsharing ist. Außerdem zeigte sich bei der Validierung, dass die Anwendung des Moduls einerseits von Subunternehmern und andererseits von der Bauphase abhängt. Nach Ansicht der Probanden soll es keine starre Arbeitsteilung geben, sondern sie soll an die Bedürfnisse der jeweiligen Baustelle und des jeweiligen Bauprozesses angepasst werden können. Das Modul soll flexibel einsetzbar sein und den Arbeitnehmenden die freie Wahl lassen, ob sie die freien Tage innerhalb des Bauprozesses gestalten können oder nicht. Die aufgelisteten Optionen sehen beispielsweise eine Umsetzung bis zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb des Projektes oder ein Aussetzen der Umsetzung während beispielsweise der Abnahmezeit eines Projektes vor. Das Baustellenteam sollte in der Lage sein, die Anwendung selbstbestimmt umzusetzen, um den größtmöglichen Nutzen für alle Beteiligten zu erreichen.

### 5.2 Validierung Arbeitsmodul: Homeoffice

Das Modul zur Arbeit im Homeoffice wurde im November 2022 über einen Zeitraum von zwei Monaten validiert. Drei Mitarbeitende mit unterschiedlichen Arbeitsmustern im Homeoffice wurden einbezogen: eine Person arbeitete ein bis zwei Tage im Homeoffice, eine andere Person arbeitete hauptsächlich im Homeoffice und besuchte die Baustelle nur bei Bedarf, während eine dritte Person über einen Zeitraum von zwei Wochen Homeoffice-Tage sammelte und dann eine ganze Arbeitswoche im Homeoffice verbrachte. Die Mitarbeitenden wurden alle 14 Tage durch Online-Umfragen befragt und am Ende des Validierungszeitraums wurden Experteninterviews durchgeführt.

Während des Validierungszeitraums wurden die Aufgaben der Bauleitenden in operative und administrative Tätigkeiten unterteilt. Die operativen Tätigkeiten wurden auf der Baustelle ausgeführt, während die administrativen Tätigkeiten in das Home Office verlegt wurden. Es hat sich gezeigt, dass sich die Arbeit im Home-Office vor allem für Fleißarbeiten eignet, während Baubesprechungen oder die Abstimmung individueller Problemlösungen weiterhin auf der Baustelle stattfinden. Die interne Kommunikation des Baustellenteams verbesserte sich zwar subjektiv, aber der persönliche Austausch mit den Kollegen fehlte. Störende Faktoren wie ein ungeeignetes Klima oder Lärm konnten von den Teilnehmenden im Home Office nicht ausgemacht werden; im Gegenteil, die Abwesenheit von Baustellenlärm wurde als positiv empfunden. Aber auch die fehlende Nähe zu den Arbeitskollegen und die Notwendigkeit der Selbstdisziplin, die zu Hause nicht immer gegeben ist, wurden als kritisch angesehen. Die Expert:innen sind sich einig, dass das Homeoffice innerhalb der Bauleitung sinnvoll und zukunftsfähig ist. Verbesserungen wie eine bessere steuerliche Absetzbarkeit und ein effizienterer Datentransfer wurden vorgeschlagen.

### 5.3 Validierung Arbeitsmodul: Freistellung

Die Auszeit soll den Mitarbeitern freie Zeit geben, sich nach langer Arbeit oder in schwierigen Lebensphasen zu erholen und ihre Leistungsfähigkeit und Motivation zu stärken. Im Rahmen der Validierung wurden zwei Experteninterviews mit Mitarbeitenden eines Praxispartners geführt, die bereits eine Auszeit genommen haben bzw. diese anstreben. In beiden Fällen gab der Arbeitgeber den Zeitpunkt für die Freistellungsphase vor, die am Ende eines Projektes stattfinden sollte, wenn alle Aufgaben erledigt waren und die Übergabe an Kollegen und Vorgesetzte reibungslos erfolgen kann. Die Dauer der Freistellungsphase lag bei beiden zwischen zwei und vier Monaten und war unbezahlt.

Beide Befragten gaben an, dass die Freistellungsphase eine positive Erfahrung war, da sie Zeit für sich selbst, ihre Familie und Freunde hatten, reisen konnten, und Zeit für Dinge hatten, für die sie im Arbeitsalltag keine Zeit haben. Die finanzielle Belastung wurde als Kritikpunkt genannt, dennoch empfehlen sie die Freistellungsphase an Kollegen und Freunde weiter.

Insgesamt wurde das Sabbatical als eine positive Erfahrung für die Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben angesehen, insbesondere für Arbeitnehmende mit Familien und Kindern oder für Menschen, die Zeit für sich selbst und ihre Beziehungen brauchen. Die Befragten empfehlen jedoch, die finanziellen Aspekte sorgfältig zu prüfen.

### 5.4 Validierung Arbeitsmodul: Arbeitszeitdokumentation

Die Expertenbefragungen wurden im Januar 2023 durchgeführt. Alle Teilnehmenden hatten die gleiche Art der Arbeitszeiterfassung. Diese kann digital erfasst werden, während man im Büro arbeitet, oder sie kann einen Tag später manuell eingegeben werden. Letztere Methode wird vor allem bei Heim- oder Auswärtsarbeit angewendet. Plus- oder Minusstunden können auf einem Kurzzeitkonto erfasst und bei Bedarf flexibel abgebaut oder nachgeholt werden. Darüber hinaus ist es möglich, Stunden vom Kurzzeitkonto auf ein Langzeitkonto von bis zu drei Jahren zu übertragen und so eine längere Auszeit zu nehmen. Folgende Zustände werden bei der Erfassung berücksichtigt: Kommen, Gehen, Sonderpause und Reisetätigkeit. Gesetzliche Pausen und Ruhezeiten werden vom System automatisch erfasst. Genaue Beschreibungen der Tätigkeiten müssen von den Mitarbeitern nicht erstellt werden; dies ist nur notwendig, wenn mehrere Projekte bearbeitet werden und eine interne Verrechnung stattfindet. Die Mitarbeitenden empfinden die Zeiterfassung nicht als Einschränkung, sondern eher als Erleichterung. Sie führt zu einer realistischeren Arbeitsbelastung und ermöglicht es den Beschäftigten, privaten und familiären Verpflichtungen nachzukommen. Die Work-Life-Balance wird als gut bis sehr gut empfunden und das Arbeitspensum wird subjektiv effizienter bewältigt. Es wurden jedoch Störfaktoren in der Zeiterfassungssoftware identifiziert und darauf hingewiesen,

dass eine gezielte Schulung der Beschäftigten zu Selbstorganisation und Zeitmanagement hilfreich sein könnte. Die Möglichkeit einer genaueren Nachkalkulation der tatsächlichen Baustellengemeinkosten durch ein Arbeitszeiterfassungssystem wurde erwähnt.

### 5.5 Ergebnisse der Validierung

Im Rahmen einer Validierung wurden verschiedene Arbeitsmodelle wie "Arbeitszeiterfassung", "Home-Office", "Job-Sharing" und das Modul "Freistellung" im Bereich der Baubranche analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass eine genaue Arbeitszeiterfassung eine bessere Kontrolle und Kalkulation ermöglicht und sich positiv auf die Work-Life-Balance auswirken kann. Homeoffice kann bei geeigneten Rahmenbedingungen die Effizienz und Produktivität steigern. Jobsharing führt zu einer Entlastung und besseren Work-Life-Balance, erfordert aber eine flexible Anpassung an projektspezifische Anforderungen. Die Möglichkeit der Freistellung leistet einen wichtigen Beitrag zu einer besseren Work-Life-Balance.

Es wurde auch Verbesserungspotenzial festgestellt: Das Arbeitsmodell "Home Office" könnte von einer individuellen Betreuung und Maßnahmen gegen externe Störfaktoren profitieren. Für die erfolgreiche Umsetzung von Jobsharing und Auszeiten sind eine erhöhte Flexibilität von Arbeitnehmer und Arbeitgeber sowie individuelle Anpassungen an die jeweiligen Projekte und Teams erforderlich.

## 6 Zusammenfassung aus Ausblick

Die derzeitigen Arbeitsbedingungen innerhalb der Bauleitung erweisen sich als unattraktiv für zukünftige Generationen von Nachwuchskräften. Dies wird auch durch Umfragen unter derzeit tätigen Bauleiter:innen untermauert, die auf eine generell geringe Attraktivität des Berufsfeldes hinweisen. Der Einsatz dieser Arbeitsmodule ermöglicht es den Arbeitgebern, ihre Attraktivität für Fachkräfte zu erhöhen und vorhandenes Personal zu binden. Darüber hinaus zielen die Module darauf ab, den Beschäftigten mehr Flexibilität für berufliche und private Aktivitäten zu geben und die Arbeitsbedingungen zu verbessern. Bei der Validierung der Arbeitsmodule "Arbeitsort", "Arbeitszeitdokumentation", "Verteilung der Arbeitszeit" und "Freistellung" wurden Chancen und Risiken bei der Umsetzung identifiziert. Obwohl die Anwendung aller Arbeitsmodule prinzipiell möglich ist, hängt die Umsetzbarkeit letztlich vom gesamten Handlungsrahmen des Unternehmens ab. Viele Module lassen sich kostenneutral einführen und können bei gezielter Umsetzung auch zu Effizienzgewinnen führen. Die meisten Arbeitsmodule sind jedoch stark von der aktuellen Projektsituation und der Unternehmenskultur geprägt. Ein hohes Maß an Flexibilität auf beiden Seiten, sowohl auf Arbeitgeber- als auch auf Arbeitnehmerseite, und ein Gleichgewicht zwischen den Anforderungen und Verpflichtungen der Arbeitnehmenden führt zu einer nachhaltigen Win-Win-Situation und hohen Synergieeffekten auf beiden

Seiten. Im Laufe des Projekts konnte nur eine begrenzte Anzahl von Modulen validiert werden. Während die grundsätzliche Anwendbarkeit bestätigt werden konnte, konnte die Ausprägungstiefe in Abhängigkeit von den spezifischen Rahmenbedingungen des Unternehmens nicht abschließend untersucht werden. Es bedarf weiterer Daten, um externe Faktoren und Unternehmenskennzahlen mit der Umsetzung der Arbeitsmodule zu verknüpfen.

- [13] H. Bonin et al., „Verbreitung und Auswirkungen von mobiler Arbeit und Homeoffice: Kurzexpertise“, DEU; Berlin; Duisburg; Mannheim; Bonn. (Online). Verfügbar unter: <https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/70079>.
- [14] Mitarbeitermotivation, Mitarbeiterbindung. Springer Gabler, Wiesbaden, 2019.
- [15] Baur, Nina; Blasius, Jörg (2014): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

## 7 Literatur

- [1] L. M. Helen Hickmann, *Fachkräftereport September 2021 - Der Fachkräftemangel nimmt wieder zu*. S. 6. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iwkoeln.de/studien/helen-hickmann-lydia-malinder-fachkraeftemangel-nimmt-wieder-zu.html> (Zugriff am: 8. Februar 2022).
- [2] KOFA Kompakt, *KOFA Kompakt 1/2022: Jahresrückblick – der Arbeitsmarkt 2021*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.kofa.de/service/news/detailseite/news/kofa-kompakt-12022-jahresrueckblick-der-arbeitsmarkt-2021-1> (Zugriff am: 28. März 2022).
- [3] Ludwig Austermeier Offsetdruck e. K., Berlin, Hg., „Baumarkt 2020 - Perspektiven 2021“, Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V., Berlin, 2021.
- [4] Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, „Moderne Bauleitung: Arbeitsmodelle zur Attraktivitätssteigerung der Bauleitung. Erhöhung der Frauenquote und der Vereinbarkeit von Familie und Beruf.“. Förderung: Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI) durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, 2023.
- [5] Arbeitsbereich Für Baumanagement, Baubetrieb Und Tunnelbau, Hg., Tagungsband zum 31. BBB-Assistent:innentreffen Innsbruck 2022. Studia Verlag, 2022.
- [6] Homeoffice im Interessenkonflikt: Ergebnisbericht einer empirischen Studie, 2021. (Online). Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/250143/1/1761309978.pdf>
- [7] P. Grunau, K. Ruf, S. Steffes und S. Wolter, „Mobile Arbeitsformen aus Sicht von Betrieben und Beschäftigten: Homeoffice bietet Vorteile, hat aber auch Tücken“, Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB), IAB-Kurzbericht 11/2019, 2019. (Online). Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/216702>.
- [8] Bundesministerium für Soziales und Arbeit, Teilzeitmodelle. (Online). Verfügbar unter: <https://www.bmas.de/DE/Arbeit/Arbeitsrecht/Teilzeit-flexible-Arbeitszeit/Teilzeit/teilzeitmodelle.html>.
- [9] B. Badura, H. Schellschmidt und C. Vetter, Hg., Fehlzeiten-Report 2003: Wettbewerbsfaktor Work-Life-Balance Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [10] Bernd Weller, „Die Gestaltung von Sabbatical Vereinbarungen“, Lohn+Gehalt, 2010. (Online). Verfügbar unter: [https://www.heuning.de/fileadmin/DATA/Dokumente/Veroeffentlichungen/2010/108\\_LohnundGehalt-Juni2010-Sabbaticals.pdf](https://www.heuning.de/fileadmin/DATA/Dokumente/Veroeffentlichungen/2010/108_LohnundGehalt-Juni2010-Sabbaticals.pdf)
- [11] Bundesministerium für Arbeit und Soziales, „Mitarbeiterkapitalbeteiligung: Modelle und Förderwege“, 2013.
- [12] F. Anrich und S. Kugler, Das Fairlohnung-Konzept. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020.



# SafeCon3D – Automatisiertes Assistenzsystem für Baustellengeräte

## SafeCon3D - Automated assistance system for construction site equipment

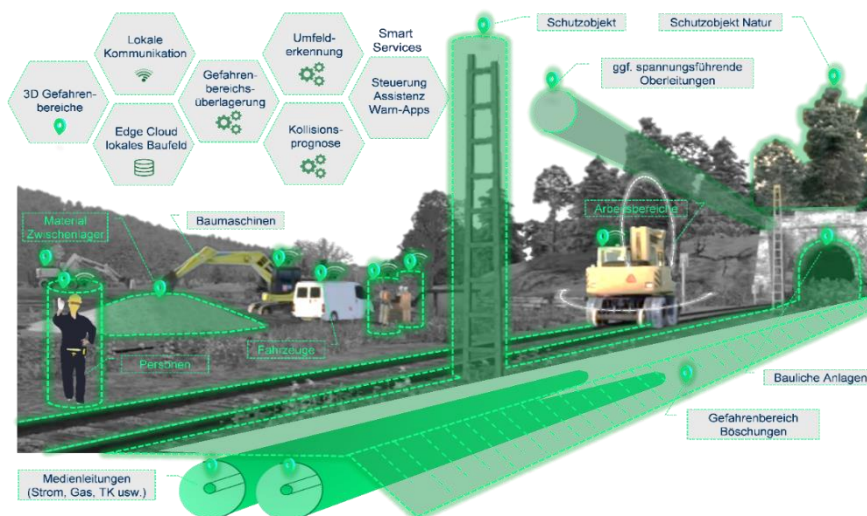
Dipl.-Ing. Janik Mischke, TU Dresden, Institut für Baubetriebswesen, Nürnberger Straße 31a 01187 Dresden, janik.mischke@tu-dresden.de

### Kurzfassung

Das Forschungsprojekt „SafeCon3D – System zur Erhöhung der Sicherheit auf Baustellen durch die Vernetzung von 3D-Gefahrenbereichen mit digitalen Steuerungssystemen von Baumaschinen“ ist ein im Rahmen des ZIM Förderprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz gefördertes Forschungsvorhaben der TU Dresden zusammen mit 2 mittelständischen Unternehmen. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines assistierenden oder automatisierenden Sicherheitssystems für Baumaschinen. Dabei soll auf eine kamera- bzw. sensorgesteuerte Erfassung von umgebenden Objekten verzichtet werden. Die Besonderheit bei diesem System liegt darin, dass die Abstands- und Kollisionsüberprüfung im digitalen Raum stattfindet. Dabei werden sämtliche Bewegungen des Baggers erfasst und im digitalen Modell der Baustellenumgebung wiedergegeben. Die Entwicklung der einzelnen Teilkomponenten erfolgt anhand eines Mobilbaggers auf einer Gleisbaustelle. Der folgende Beitrag geht auf die grundlegende Funktionalität des Systems ein und erläutert die inhaltlichen Bearbeitungsschwerpunkte sowie Zwischenergebnisse im Rahmen der Projektbearbeitung durch das Institut für Baubetriebswesen.

### Abstract

The research project "SafeCon3D - System for increasing safety on construction sites by networking 3D hazardous areas with digital control systems of construction machines" is a research project of the TUD Dresden University of Technology together with two medium-sized companies funded within the framework of the ZIM funding program of the Federal Ministry of Economics and Climate Protection. The aim of the project is the development of an assisting or automating safety system for construction machines. Thereby, a camera- or sensor-controlled detection of surrounding objects is to be dispensed with. The special feature of this system is that distance and collision checks take place in digital space. All movements of the excavator are recorded and reproduced in the digital model of the construction site. The development of the individual subcomponents is based on a mobile excavator on a track construction site. The following article describes the basic functionality of the system and explains the main focus of the work as well as the intermediate results within the scope of the project work by the Institute of Construction Management.

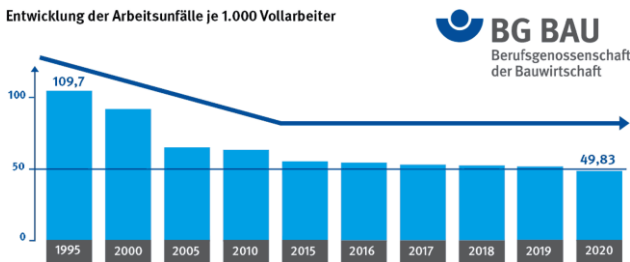


**Bild 1** Konzeptidee SafeCon3D (Darstellung FMS)

## 1 Einleitung

Ein Blick auf die jährlich veröffentlichte Unfallstatistik der BG Bau verdeutlicht, dass es notwendig ist, in Sachen Arbeitsschutz neue innovative Ansätze zu verfolgen. Dadurch könnten analog zur Reduzierung der Unfallzahlen im Straßenverkehr, die Unfallzahlen auf der Baustelle ebenfalls gesenkt werden. Betrachtet man die Unfallzahlen der letzten 25 Jahre, so lässt sich feststellen, dass die Unfallzahlen insgesamt zwar rückläufig sind. So hat sich die Anzahl von 109,7 Arbeitsunfällen je 1.000 Vollarbeiter aus dem Jahr 1995 auf rund 50 Arbeitsunfälle je 1.000 Vollarbeiter seit dem Jahr 2015 reduziert. Jedoch verharrt sie seitdem in diesem Bereich. (siehe **Bild 2**).

Entwicklung der Arbeitsunfälle je 1.000 Vollarbeiter



**Bild 2** Entwicklung der jährlichen Unfallzahlen nach BG Bau [1]

Hieraus kann geschlussfolgert werden, dass die seit den 1990er Jahren implizierten Arbeitsschutzmaßnahmen zwar wirksam waren und eine erhebliche Reduzierung der Arbeitsunfälle bewirkt haben, diese jedoch nicht vollends zur ausreichenden Eliminierung von Arbeitsunfällen geführt haben. An dieser Stelle sind neue Ansätze gefragt, um den Arbeitsschutz auf Baustellen weiter zu verbessern. Dies ist vor dem Hintergrund, dass zukünftig der Anteil qualifizierter ausgebildeter Fachkräften auf Baustellen rückläufig sein wird, von besonderer Bedeutung.

## 2 Analyse der Unfallzahlen

Im Jahr 2021 ereigneten sich 118.171 gemeldeten Arbeitsunfällen im Bereich der Bauwirtschaft. Davon waren 78 Arbeitsunfälle tödlich. [2] Betrachtet man die jährliche Unfallstatistik der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) genauer, so lässt sich feststellen, dass sich im Jahr 2021 rund 17 % aller meldepflichtigen Arbeitsunfälle in Deutschland im Baugewerbe ereignen. [2] Außerdem wird deutlich, dass sich davon 27,5 % auf Neubaubaustellen, 1,3 % auf Tagebau- sowie Ausgrabungsbaustellen und 36,3 % der Arbeitsunfälle bei Abriss- oder Sanierungsarbeiten ereignen. Auf „Sonstige Baustellen“, die keiner der vorher genannten Kategorien zugeordnet werden können, entfallen 34,9 % der Arbeitsunfälle. [2]

Betrachtet man die Ursachen der Arbeitsunfälle genauer, so sind die Hauptursachen der Kontakt mit scharfen, spitzen oder harten Gegenständen mit insgesamt 38.474 Arbeitsunfällen (32,6 %), gefolgt von Aufprall auf/ gegen ortsfeste Gegenstände mit 29.017 Arbeitsunfällen

(24,6 %) und dem Zusammenstoß mit einem sich bewegenden Gegenstand mit 16.282 Arbeitsunfällen (13,8 %). Die akuten seelischen und körperlichen Überbelastungen, auf die 20.661 Arbeitsunfälle zurückzuführen sind, werden im Rahmen der weiteren Betrachtung im Projekt außenvorgelassen. Eine weiterhin häufige Unfallursache ist das Einklemmt werden (7,7 %) sowie der Kontakt mit elektrischen Strom, Temperaturen oder gefährlichen Stoffen (3,4 %). [2] Bei den tödlichen Unfällen auf Baustellen verhält sich die Verteilung ähnlich. Von den insgesamt 78 tödlichen Arbeitsunfällen entfallen auf Neubaustellen 20,5 %, auf Abriss- und Sanierungsbaustellen 41,0 %, auf Tagebau- und Ausgrabungsbaustellen 9,0 % und auf „Sonstige Baustellen“ 29,5 % der tödlichen Unfälle. Von den 78 tödlichen Arbeitsunfällen entfielen 24 auf das Aufprallen gegen einen ortsfesten Gegenstand, 14 auf das Einklemmt werden und 22 auf den Zusammenstoß mit einem sich bewegenden Gegenstand. Eine hohe Anzahl an Unfalltoten geht auf das verschütten oder begraben werden mit insgesamt 5 Unfalltoten, obwohl deren Anteil an der Gesamtzahl der meldepflichtigen Arbeitsunfälle nur 0,1 % ausmacht. [2]

Eine genauere Auflistung der Unfallzahlen auf weitere baubranchenspezifische Bereiche, wie beispielsweise zu Gleisbauarbeiten, erfolgt in der Statistik der DGUV nicht. Im Erläuterungstext zur obengenannten Statistik wird lediglich darauf hingewiesen, dass Unfälle auf Gleisbaustellen dem Bereich Tagebau- und Ausgrabungsbaustellen zugeordnet werden. Auch sonst gibt es keine belastbaren Statistiken hinsichtlich Unfallschwerpunkt auf Gleisbaustellen, welche zu Grunde gelegt werden können. Dadurch musste auf Publikationen und andere Meldungen von Arbeitsunfällen im Gleisbereich zurückgegriffen werden. So ist eine häufig genannte Unfallursache, dass Gleisbauarbeiter vom Zug erfasst wurden, da sie entweder den Gleisbereich nicht rechtzeitig verlassen oder sich im Lichtraumprofil des Nachbargleises aufgehalten haben. [3] Eine weitere Gefahrenquelle ist dabei der Kontakt mit elektrischen Leitungen, speziell hier mit der Oberleitung. Viele Unfälle auf Gleisbaustellen haben jedoch eins gemeinsam, oft enden sie mit schweren Verletzungen oder tödlich. [4]

Die Analyse der Unfallstatistik der DGUV hat außerdem ergeben, dass die Nationalität und die daraus resultierenden sprachlichen Barrieren ein wichtiger Einflussfaktor auf die Unfallzahlen sind. So waren im Jahr 2021 21 % der am Bau Beschäftigten Arbeiter ausländische Staatsangehörige. [5] Für die Baubranche wurden folgende Unfallzahlen nach Staatsangehörigkeit veröffentlicht. So betrafen von den in Deutschland im Jahr 2021 gemeldeten Arbeitsunfällen 9.250 Unfälle Staatsangehöriger einer anderen Nationalität als deutsch. Dies sind rund 8 % aller meldepflichtigen Unfälle auf Baustellen im Jahr 2021. [6] Im Zuge des steigenden Fachkräftemangels und der dadurch notwendigen Zuwanderung von ausländischen Fachkräften wird sich diese Statistik leider erhöhen. Hierbei wird deutlich, dass

die sprachlichen Barrieren zwischen Arbeitnehmer unterschiedlicher Nationalitäten Einfluss auf die Unfallprävention haben. So werden zum Beispiel Sicherheitseinweisungen und ausgesprochenen Warnungen nur teilweise oder schlecht verstanden, wodurch sich das Unfallrisiko erhöht. Auch hier ist es sinnvoll, einfache und universell verständliche Kommunikationswege in die Arbeitssicherheit zu implementieren, um das Unfallrisiko zu minimieren.

Eine Untersuchung der Unfallstatistik hinsichtlich der geschlechterspezifischen Verteilung der gemeldeten betrieblichen Unfallzahlen ergab, dass Männer überproportional von Arbeitsunfällen betroffen sind. Die Unfallstatistik der DGUV gliedert die gemeldeten Arbeitsunfälle in die Kategorien männlich und weiblich. 74,5 % der 730.516 gemeldeten betrieblichen Arbeitsunfälle entfielen auf männliche Arbeitnehmer, während 25,4 % der gemeldeten betrieblichen Arbeitsunfälle auf weibliche Arbeitnehmer zurückfallen. Bei den tödlichen Unfällen verstärkt sich die Tendenz sogar noch mehr, hier entfallen 92,9 % (250 in absoluten Zahlen) auf Männer, während 7,1 % (19) auf Frauen entfallen. [7] Dies lässt sich mit dem hohen Anteil an Männern in der weiterverarbeitenden Industrie, wie beispielsweise der Bauindustrie, zurückführen, da hier ein größeres Unfallpotential vorliegt.

### 3 Forschungsprojekt SafeCon3D

Eine dieser neuen Ansätze ist eine Positions- und Bewegungsüberwachung von Arbeitskräften und Baumaschinen in Echtzeit. Im Rahmen eines aktuell unter Beteiligung des Instituts für Baubetriebswesen laufenden Forschungsvorhaben soll ein informierendes bzw. automatisiertes Assistenzsystem entwickelt werden, welches die Gefahrenbereiche erkennt und vor spezifischen, zu Gefahrensituationen führenden Bewegungen von Baumaschinen, insbesondere der eines Mobilbaggers und Personen warnt bzw. diese vermeidet. Vergleichbar ist dieses Szenario mit den bekannten Assistenzsystemen der Einparkhilfe beim PKW, wodurch die Anzahl an Unfällen erfolgreich reduziert werden konnte. [8] Zusammen mit der Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik, der Firma ECO Fahrzeugsysteme GmbH und der tp management GmbH soll ein Sicherheitsleitstand für den aktiven Baustelleneinsatz entwickelt werden. Dabei wird sich die stark voranschreitende Digitalisierung im Bauwesen zu Nutze gemacht und die Informationsbasen sowie neuen Integrationstechnologien - BIM-Modelle, Automatisierung, GNSS, 5G, WLAN - mit einbezogen. Am Beispiel einer fiktiven Gleisbaubaustelle mit verschiedenen Einsatzszenarien eines Baggers soll der Sicherheitsleitstand im Rahmen eines Versuchsfeldes erprobt werden.

#### 3.1 Ermittlung Gefahrenpotentiale

Anhand der Analyse der Unfallstatistik und das Herausarbeiten der spezifischen Unfallursachen können spezielle Unfallszenarien abgeleitet werden. Dies ist dahingehend

wichtig, damit der entwickelte Demonstrator möglichst genau die Realität widerspiegelt. Damit die Funktionalität des Sicherheitssystems überprüft werden kann, wurden die verschiedene Gefahrensituationen aus bauverfahrenspezifischen Prozessen herausgearbeitet und auf die Referenzbaustelle übertragen. Bei Gleisbaubaustellen ist zum Beispiel das Unfallszenario des Kontaktes mit elektrischem Strom ein typischer Unfallschwerpunkt. Dabei ist insbesondere der Kontakt des Baugerätes mit der Oberleitung eine der häufigsten Unfallursachen. Einen weiteren Unfallschwerpunkt stellt der Zusammenstoß mit einem sich bewegenden Gegenstand dar. Hier sind zum einen die Fahr- und Drehbewegung des Zweibegebaggers und zum anderen die Gefahr durch vorbeifahrende Züge auf dem benachbarten Betriebsgleis als Gefahrenschwerpunkte von besonderer Bedeutung. In der nachfolgenden **Tabelle 1** sind ausgewählte Gefahrensituationen und die dazugehörige Gefahrenquelle aufgeführt.

**Tabelle 1** Übersicht ausgewählter Gefahrensituationen

Gefahrensituationen	Gefahrenquelle
Bagger stürzt Böschung/Baugrube herab	zu geringer Abstand zur Böschungskante
Bagger schwingt in Oberleitung/ Nebengleis	Lichtraumprofil des Gleises wird nicht beachtet
Bagger kollidiert mit Baum	Baum wurde übersehen
Bagger kollidiert mit Objekt	Objekt wurde übersehen
Bagger kollidiert mit Person	Person wurde übersehen
Arbeiter stürzt in Baugrube/Böschung herab	Fehlende Absturzsicherung
Arbeiter hält sich im Lichtraumprofil des Gleises auf und wird erfasst	Unachtsamkeit des Arbeiters
Arbeiter erhält Stromschlag	Sicherheitsabstand wird nicht eingehalten.
Arbeiter wird vom Bagger erfasst	Arbeiter hält sich nicht im Sichtfeld des Baggerfahrers auf
Arbeiter wird zwischen 2 Objekten gequetscht	Sicherheitsabstand wird nicht eingehalten

Diese Unfallszenarien sollen im Rahmen einer Referenzbaustelle genauer betrachtet werden. Dabei werden durch eine Demonstration verschiedene Szenarien durchgespielt. Dadurch wird das System auf seine Funktionalität überprüft.

#### 3.2 Referenzbaustelle

Um das System auf seine Funktionalität zu überprüfen, werden im Rahmen eines Versuchsfeldes verschiedene Einsatzszenarien betrachtet. Dafür ist es notwendig, den Gefahrensituationen passende Objekte anzuordnen. Im Zentrum der Referenzbaustelle steht der Mobilbagger, welcher bei Gleisbaubaustellen typischerweise ein Zweibegebagger ist. Dieser Mobilbagger bildet das Gefahrenobjekt anhand welchem diverse Gefahrensituationen

überprüft werden sollen. Eine dieser, für Gleisbaubaustellen besonderen Gefahr, stellt die Gefahr durch den Gleisbetrieb und die Oberleitung dar. Hierfür wird auf der Versuchsfläche eine Gleisstrecke mit Oberleitung nachgebildet. Anhand der Gleisstrecke soll das Gefahrenszenario des Hineinschwenkens in das Lichtraumprofil des Gleises und der Oberleitung durch das System verhindert werden. Eine weitere Gefährdung besteht durch die Kollision mit Objekten auf der Baustelle. Dieses Szenario soll anhand eines Baumes und einer Laterne, welche sich bereits auf der Versuchsfläche befinden, überprüft werden. In einem ersten Schritt soll die Funktionalität jedoch an einem einfachen geometrischen Körper erprobt werden. In **Bild 3** ist eine vereinfachte Visualisierung des Versuchsfeldes dargestellt.



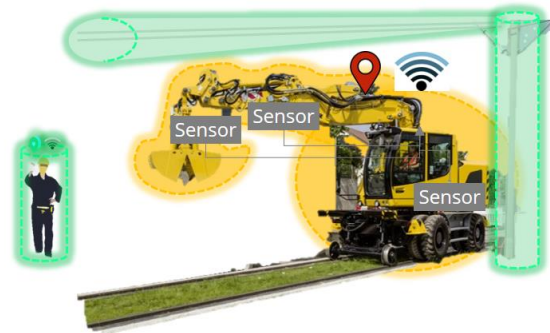
**Bild 3** Vereinfachte Visualisierung Versuchsfeld (Darstellung tp-management)

Nach dem alle Versuche an statischen Objekten abgeschlossen sind und die Funktionsfähigkeit des Systems validiert ist, wird die Versuchsreihe auf Personen, welche ebenfalls auf Baustelle lokalisiert werden, ausgeweitet.

### 3.3 Gesamtsystem

Im Zentrum des zu entwickelnden Assistenzsystems steht des Sicherheitsleitstand. In diesem Leitstand, welcher sich zukünftig direkt auf der Baustelle in einem separaten Container befindet, finden alle systemrelevanten Prozesse des Assistenzsystems statt. Dieser Container ist mit einer Signalleuchte ausgestattet, sodass zu jeder Zeit sichtbar ist, ob das System aktiviert, ausgeschaltet oder eine Störung vorliegt. Ein Teil des Sicherheitsleitstandes stellt das 3D-Umgebungsmodell der Baustelle dar. Hier sind alle auf der Baustelle befindlichen Objekte zu berücksichtigen und anhand ihrer realen Lage und Abmessung im BIM-Modell zu modellieren. Den einzelnen Objekten ist zusätzlich die Eigenschaft „Abstandszone“ zuzuordnen (grün dargestellt). Diese Abstandszone gliedert sich in 2 Zonen. Abstandszone 1 beschreibt dabei die rechtlich und normativ festgelegten Sicherheitsabstände. Die Abstandszone 2 beschreibt einen zusätzlichen Puffer, welcher angeordnet wird, um das Sicherheitsgefühl zu erhöhen und bei Störungen im System einen zusätzlichen Schutzmechanismus zu haben. Nähere Ausführungen zu den Abstandszone folgen in **Abschnitt 3.4**.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Sicherheitsleitstandes ist das Baugerät selbst. Wichtige Voraussetzung für die Implementierung des Baugerätes ist, dass dieses die notwendigen technischen Voraussetzungen besitzt. Das Baugerät muss dabei zwingend eine GNSS-Antenne für die Lokalisierung besitzen. Außerdem muss das Baugerät über eine entsprechende Sensorik zur Aufnahme und Darstellung sämtlicher Maschinenbewegungen verfügen. Darüber hinaus muss das Baugerät außerdem über einen Fernsteuerungszugriff verfügen, sodass Befehle an die Steuerung von außerhalb der Maschine erfolgen können. Hier ist darauf zu achten, dass ausschließlich berechnete Befehle die Maschine erreichen, sodass es zu keiner Manipulation kommt. Für die Funktionalität bedarf es einer optimalen Kommunikationsarchitektur. Dabei ist besonders auf die Latenz zu achten. Kommt es zu Verzögerungen bei der Datenübertragung zum Sicherheitsleitstand hin oder zum Baugerät zurück, so wird dies die Funktionalität des Systems beeinträchtigen. Die gesamten Informationen des Baggers werden mittels OPC UA an den Sicherheitsleitstand übertragen. Die Systemarchitektur ist in **Bild 4** abgebildet.



**Bild 4** Visualisierung Systemaufbau (Darstellung FMS)

Zusätzlich dazu muss ein kinematisches 3D-Modell des Baugerätes (in diesem Fall der Mobilbagger) vorliegen, welches die realen Bewegungen wiedergeben kann. Zusätzlich dazu benötigt die Baumaschine einen Algorithmus zu Beschreibung der geschwindigkeitsabhängigen Hüllkurven, um die beweglichen Teile der Baumaschine (gelb dargestellt) abzubilden.

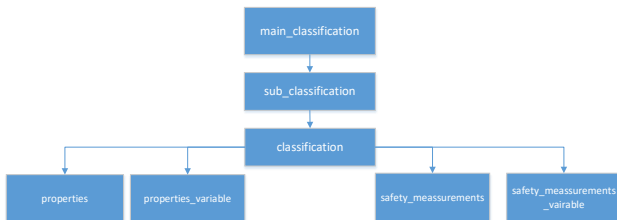
Die eigentliche Kollisionsprüfung findet letztlich in Unity statt. Dort werden sowohl die Daten des Mobilbaggers als auch die Daten des virtuellen Baustellenmodells importiert. Über die Kollisionsprüfung der Hüllkurven des Baggers mit den Sicherheitszonen einzelner Objekte kann das System entweder die ausgeführten Bewegungen verlangsamten oder blockieren. Dabei sendet der Sicherheitsleitstand mittels OPC UA die Daten an den Bagger zurück. Dadurch ist es möglich, dass der Sicherheitsleitstand in die Steuerung des Baggers eingreift.

Damit die Funktionsweise des Systems auch nachverfolgt werden kann, werden sämtliche Eingriffe gespeichert und

protokolliert. So können die Daten in regelmäßigen Abständen eingesehen und weiterverarbeitet werden. Die Protokolle können beispielsweise für Schulungen von Maschinenführern eingesetzt werden oder auch dazu beitragen, dass die Baustelleneinrichtung angepasst werden muss, falls es häufiger zu kritischen Situationen an bestimmten Stellen kommt.

### 3.4 Datenbank

Die Eigenschaften und Sicherheitsabstände baustellentypischer Objekte wurden in einer Datenbank zusammengeführt. Die Datenbank ist dahingehend wichtig, da das Sicherheitssystem alle notwendigen Eigenschaften des Versuchsfeldes zur Durchführung der Kollisionsprüfung benötigt. Somit kann das System über gezielte Abfragen sämtliche benötigten Eigenschaften aus der Datenbank heraus abfragen. Der grundlegende Aufbau der Datenbank ist in **Bild 5** dargestellt.



**Bild 5** Aufbau der Datenbank

Die Datenbank besteht insgesamt aus sieben einzelnen Tabellen. Sie setzt sich aus den Tabellen „main\_classification“, „sub\_classification“, „classification“, „properties“, „properties\_variable“, „safety\_measurements“ und „safety\_measurements\_variable“ zusammen.

Die Tabelle „main\_classification“ bildet die Oberkategorie aller auf einer Baustelle befindlichen Objekte. Dabei kann beispielsweise zwischen Personen, Baumaschinen oder Elementen der Baustelleneinrichtung, Vegetation, Absturzkanten, zu schützende Objekte, zu schützende Flächen, zu schützende Lichtraumprofile und zu transportierenden Güter und Hebezeuge unterschieden werden. Diesen Kategorien können in der Folge sämtliche möglichen Objekte zugeordnet werden. Den einzelnen Kategorien ist dabei jeweils ein separater Primärschlüssel zugeordnet, um eine eindeutige Zuordnung zu ermöglichen.

In der Tabelle „sub\_classification“ werden die einzelnen Baustellenobjekte der jeweiligen Kategorie präzisiert. So können in der Kategorie Vegetation beispielsweise das Objekt Baum, Strauch oder Grünfläche zugeordnet werden. Diese unterschiedlichen Unterkategorien bekommen ebenfalls eine eigenständige numerische Kennung (ID).

In der Tabelle „classification“ werden sämtlichen Objekten, welche Teil des Sicherheitsleitstandes und damit der Baustelle sind, definiert und in ihre Einzelbestandteile aufgeteilt. So kann beispielsweise das Objekt Baum in die Ein-

zelteile Baumwurzel, Baumstamm und Baumkrone unterteilt werden. Zusätzlich kann der Baum auch als Ganzes betrachtet werden. Jedem Bestandteil eines Objektes wird eine separate ID zugeordnet. Zusätzlich zur Bezeichnung werden einzelnen Objekten Eigenschaften hinsichtlich ihrer dynamischen Fähigkeiten im Modell zugeordnet. Hier wird zwischen ortsfest (statisch) und ortsveränderlich (dynamisch) unterschieden.

Die Tabelle „properties“ definiert von allen Einzelbestandteilen eines Objektes die geometrische Eigenschaft. In der Regel sind dies vereinfachte 3-dimensionale Körper. Es kann sich dabei aber auch, wie im Falle von Flächen (z.B. Baustraße), um 2-dimensionale Ebenen handeln. Bei diesen Eigenschaften handelt es sich um unveränderliche Eigenschaften. Am Beispiel des Baumes sind dies zum einen der Umfang und die Höhe der einzelnen Baumbestandteile, woraus sich der 3-dimensionale Körper definiert. So hat der Baum zum Beispiel folgende Maße (siehe **Tabelle 2**):

**Tabelle 2** Eigenschaften Objekt am Beispiel Baum

ID	Name	Value	Unit	Definition
30111	Baumhöhe	15000	mm	3-dimensionaler Zylinder um den gesamten Baum
30121	Wurzelhöhe	-2000	mm	3-dimensionaler Zylinder um den Wurzelbereich
30131	Stammhöhe	4000	mm	3-dimensionaler Zylinder um den Baumstamm
30141	Kronenhöhe	11000	mm	3-dimensionaler Zylinder um die Krone
30132	Stammdurchmesser	800	mm	3-dimensionaler Zylinder um den Baumstamm
30142	Kronendurchmesser	3000	mm	3-dimensionaler Zylinder um die Krone
30132	Wurzelausbreitung	2500	mm	3-dimensionaler Zylinder um den Wurzelbereich

Neben den festen Eigenschaften sind in der Tabelle „properties\_variable“ noch variable Eigenschaften der einzelnen Objekte definiert. Diese betreffen in aller Regel die Geschwindigkeit.

Die festgelegten Sicherheitsabstände werden in der Tabelle „safety\_measurements“ definiert. Dabei wird jedem

Einzelbestandteil eines Objektes ein eigener Sicherheitsabstand zugeordnet. Hier ist zwischen der Abstandszone 1 und Abstandszone 2 zu unterscheiden. Die jeweilige Abstandszone erhält zur eindeutigen Identifikation jeweils seine eigene ID. Abstandszone 1 bildet den durch Normen und Vorschriften festgelegten Sicherheitsabstand. Beim Kronen- und Wurzelbereich eines liegt dieser nach RAS-LP4 bei 1500 mm gemessen ab der Kronenaußenkante. In der Tabelle ist dem jeweiligen Sicherheitsabstand auch die dazugehörige Norm bzw. deren aktuelle Fassung zugeordnet. Die Abstandszone 2 dagegen bildet einen zusätzlichen Schutz, um Störungen im System aufzufangen und um den Sicherheitskomfort zu erhöhen. Diese beträgt 500 mm. Zusätzlich gibt die Tabelle an, ab welchem Punkt des Objektes der Sicherheitsabstand gilt. In der Regel ist dies die äußere Kante des Objektkörpers. Die Abstandszone sind dann auf die äußere Kante aufzurechnen. Dies ist insbesondere bei der Modellierung der digitalen Baustelle von Bedeutung.

Neben den festen Sicherheitsabständen sind zusätzlich variable Sicherheitsabstände von Bedeutung. Diese werden in der Tabelle „safety\_measurements\_variable“ definiert. Auch hier sind Abstandszone 1 und 2 dem jeweiligen Einzelbestandteil des Objektes zugeordnet. Ein Beispiel für die variablen Abstandszone ist der Abstand bei Böschungen. Dieser ist abhängig vom jeweiligen Gewicht des Objektes und der Art der Böschung (siehe dazu DIN 4124).

## 4 Rechtliche Risiken

Jedoch stellen sich gerade bei der Nutzung von Assistenzsystemen, welche automatisiert oder teilautomatisiert in den Arbeitsprozess eingreifen, die rechtliche Frage der Haftung, falls das System einmal versagt und es dadurch zu einem Unfall kommt. Hier müssen die rechtlichen Folgen geklärt sein. Diese rechtlichen Hürden bzw. Anforderungen an das automatisierte Assistenzsystem wurden am Anfang des Projektes untersucht. Besonders mit der Frage nach der Haftung wird sich kritisch unter Juristen auseinandergesetzt. Da automatisierte Systeme nicht als juristische Person angesehen werden können, fällt die Haftung bei einem Versagen oder einem Schadensfall entweder auf den Nutzer oder den Hersteller zurück. Hierbei muss zwischen einer vertraglichen Haftung für ein mangelfreies Produkt und einer deliktischen Haftung infolge eines Schadens durch ein fehlerhaftes Produkt unterschieden werden. Oftmals liegt die Haftung für entstandene Schäden bei einem fehlerhaften Produkt auf Seiten des Herstellers. Denn weist der Nutzer eine sachgemäße Nutzung des Produktes, in diesem Fall ein Automat, nach, so wird er in aller Regel entlastet. Somit haftet der Hersteller. Gemäß § 4 ProdHaftG schulden nicht nur der Hersteller, sondern ebenfalls Händler und Zulieferer als Gesamtschuldner für das Produkt. Als Mangel seitens des Herstellers können beispielsweise Programmierfehler, Konstruktionsfehler,

Produktionsfehler oder Instruktionsfehler vorliegen. [9] Darüber hinaus hat der Hersteller nach Inverkehrbringen des Produktes eine Produktbeobachtungspflicht, bei der auftretende Mängel zur Kenntnis genommen, dokumentiert und mit zumutbaren Maßnahmen zur Mängel- und Gefahrenbeseitigung abgestellt werden müssen. [10] Die Frage der Haftung liegt daher oft in Händen des Herstellers. Deswegen ist es umso wichtiger ein funktionierendes Produkt auf den Markt zu bringen und dieses anschließend zu überwachen und zu optimieren. Dies ist bei sicherheitsrelevanten Systemen umso wichtiger.

Da das angedachte System ebenfalls Personen beinhaltet, welche positionsüberwacht werden müssen, spielt weiterhin die Betrachtung des Datenschutzes eine große Rolle. Dabei sind die Anwesenheits- und Bewegungsdaten der auf der Baustelle agierenden Personen sensibel zu betrachten. Weitere sensible Daten sind die sensorübertragenen Maschinendaten, da auch diese mit personenbezogenen Informationen in Verbindung gebracht werden können. So können beispielsweise die Fahr- und Bewegungsdaten für eine gezielte Auswertung der Arbeitsweise des Maschinenführers genutzt werden. Auch diese Daten sind ausschließlich für den Einsatz im System gedacht. Gemäß § 6 Abs. 1 DSGVO ist von allen Personen eine Einwilligung einzuholen, damit ihre Daten innerhalb des Assistenzsystems genutzt werden können. Nach § 5 Abs. 1 DSGVO müssen personenbezogene Daten in einer für die betreffende Person nachvollziehbaren Weise verarbeitet sowie ausschließlich für die legitimierten, eindeutigen und dafür festgelegten Zwecke erhoben werden. Zusätzlich dürfen diese Daten nur so lange gespeichert werden, wie dies erforderlich ist. Nach § 6 Abs. 1 DSGVO müssen betroffene Personen dabei entweder direkt einwilligen oder die Datenerhebung muss zur Erfüllung rechtlicher Verpflichtungen dienen, um lebenswichtige Interessen des Betroffenen zu schützen. Dabei kann die Wahrung der Gesundheit als eine rechtliche Pflicht, sowie Pflicht zur Einhaltung lebenswichtiger Interessen der betroffenen Personen interpretiert werden. Daher ist eine Erhebung dieser Daten grundsätzlich möglich. Zusätzlich wird die Erhebung lediglich Personen unabhängig erfolgen. Dadurch ist Anonymität der Personen gewährleistet.

Für die Funktionalität des Systems, insbesondere den Schutz von Arbeitskräften, ist es wichtig die Daten zu sammeln und für eine kurze Zeit aufzubewahren. Denn nur durch die Erfassung der personenbezogenen Daten, können die Arbeiter effektiv durch das System geschützt werden. Dadurch lassen sich die Bewegungen auch im Nachhinein besser nachvollziehen und zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen und Einweisungen mit digitaler Unterstützung können angeordnet werden.

## 5 Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben SafeCon3D bietet einen innovativen Ansatz bei der Entwicklung eines Baustellenassistenzsystems. Die Untersuchung der Unfallzahlen hat gezeigt, dass die Baubranche nach wie vor eine der gefährlichsten Wirtschaftszweige Deutschlands ist. Insbesondere die Gefährdungen durch sich bewegende Gegenstände stellt mit 28,2 % eine der häufigsten Todesursachen auf Baustellen dar. Hier ist es zwingend notwendig die Sicherheitsmaßnahmen durch Assistenzsysteme zu erhöhen. Mit dem in der Entwicklung befindlichen Sicherheitsleitstand können sowohl Objekte als auch Personen besser geschützt werden. Zwingende Voraussetzung ist dabei allerdings eine stabile Datenverbindung und ein detailliertes BIM-Modell. Denn das System funktioniert nur, wenn alle auf Baustelle befindlichen Objekte in ihrer geografischen Lage und ihrer geometrischen Abmessungen präzise wiedergegeben sind. Dafür ist bei der Bestandsaufnahme und der Modellierung Baustelle und aller auf dem Baufeld befindlichen Objekte größte Sorgfalt geboten. Eine weitere technische Hürde stellt die entsprechende Ausstattung der Baugeräte dar. Die entwickelte Datenbank mit den implementierten Sicherheitsabständen kann Planern dabei helfen, die notwendigen Schutzzonen im Modell einzuarbeiten. Zusätzlich ist ein Modellkatalog in Arbeit, welcher ein direktes Importieren der Schutzzonen in ein Modell ermöglicht.

Das Tracking von Personen ist aus personenschutzgründen ein sensibles Thema. Da das Tracking allerdings im Sinne der Arbeiter erfolgt und die Daten nur für einen kurzen Zeitraum (die Tätigkeit auf der Baustelle) erhoben werden, stellt dies aus unserer Sicht kein rechtliches Problem dar. Denn nur wenn auch Personen getrackt werden können, kann das System diese vor Unfällen und Gefahren schützen. Die zukünftigen Entwicklungen am System werden zudem weitere Baugeräte beinhalten, sodass das System zu einer Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes auf Baustellen jeglicher Art beitragen kann.

## 6 Literatur

- [1] <https://www.bau-links.de/webplugin/2021/1008.php4>, abgerufen am 30.06.2023
- [2] Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2021, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), 09/22, S. 90
- [3] <http://www.bauforumplus.eu/aus-unfaellen-lernen/unfaelle/gleisbau/bei-arbeiten-im-gleisbereich-vom-zug-erfasst/>, Stand 29.07.2022
- [4] [https://www.xity.de/amp/Ein\\_Toter\\_durch\\_Stromschlag\\_auf\\_Baustelle\\_in\\_Bayern\\_id91877.html](https://www.xity.de/amp/Ein_Toter_durch_Stromschlag_auf_Baustelle_in_Bayern_id91877.html), Stand 29.07.2022
- [5] [auslaendischen-beschaeftigten-im-bauhauptgewerbe](https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/entwicklung-der-auslaendischen-beschaeftigten-im-bauhauptgewerbe)
- [6] Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2021, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), 09/22, S. 45
- [7] Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2021, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), 09/22, S. 43
- [8] Studie des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherer (GDV): Automatisiertes Fahren – Auswirkungen auf den Schadensaufwand bis 2035, 2021, Seite 11
- [9] Münchner Kommentar BGB, § 823 BGB, Rn. 572 und Palandt/Sprau, § 823 BGB, Rn. 169
- [10] BGH, Urteil vom 17.03.1981, Az.: VI ZR 191/79, BGHZ 80, 186, 192, NJW 1981, 1603; OLG Frankfurt, Urteil vom 11.11.1993, Az.: 1 U 254/88, NJW-RR 1995, 406, 408

# Generative Chatbots zur Unterstützung bei der BIM-Anwendung

## Generative Chatbots for support in BIM application

Fabian Edenhofner, RWTH Aachen University, ICoM | Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen, Jülicher Straße 209d 52070 Aachen, [edenhofner@icom.rwth-aachen.de](mailto:edenhofner@icom.rwth-aachen.de)

### Kurzfassung

Der Einsatz von generativen Chatbots birgt ein Potential zur Anwendung in vielerlei alltäglichen Situationen und hat bereits seinen Einzug in Lehre und multiple Geschäftsfelder gefunden. Mit Blick auf die Architecture, Engineering & Construction (Abk. AEC) Branche zeigen neuartige Softwareprodukte sowie zahlreiche Beiträge in gängigen Social Media Portalen die vielversprechenden Möglichkeiten der Nutzung jener Technologien im BIM-spezifischen Zusammenhang. Der vorliegende Beitrag widmet sich der Frage, inwieweit die Anwendung von generativen Chatbots im BIM-spezifischen Kontext eine unterstützende Funktion bei der Umsetzung charakteristischer BIM-Anwendungsszenarien birgt. Neben einer Darstellung des Stands der Technik und Praxis wird die Fragestellung anhand einer Fallstudie zur Informationsextraktion aus einem BIM-Modell beleuchtet.

### Abstract

The use of generative chatbots has a potential for application in many everyday situations and has already found its way into teaching and multiple business areas. With regard to the Architecture, Engineering & Construction (AEC) industry, new software products as well as numerous contributions in popular social media portals show the promising possibilities of using these technologies in a BIM-specific context. This paper addresses the question to what extent the use of generative chatbots in a BIM-specific context has a supporting function in the implementation of characteristic BIM application scenarios. In addition to a presentation of the state of the technology and practice, the question is illuminated by means of a case study on information extraction from a BIM model.

## 1 Einleitung

### 1.1 Hintergrund

Mit dem Aufkommen einer neuen Generation an generativen Chatbots wie beispielsweise ChatGPT, Bing Chat oder Google Bard sowie ihren umfassenden Möglichkeiten stehen jene Tools im Jahr 2023 im medialen Fokus. Sie ermöglichen es, textuelle Eingaben zu erkennen, zu verarbeiten und entsprechend darauf zu reagieren. Chatbots wie ChatGPT generieren hierbei Ausgaben, welche denen von natürlichen Menschen ähnlich sind und erlauben umfangreiche Konversationen [1]. Als beispielhafte Anwendungsszenarien ergeben sich neben der Möglichkeit zur Konversation das Beantworten von Fragen, eine Textzusammenfassung oder für die Verwendung zur Generierung von ausführbaren Programmiercode [1, 2]. Ihr Einsatz birgt hierbei ein Anwendungspotential in multiplen Bereichen wie etwa in der Lehre [Vgl. 3] oder in Geschäftsfeldern des Gesundheitswesens, Finanzbereichs oder Marketings [Vgl. 4].

In Hinblick auf die AEC Branche deuten vielversprechende Softwareprodukte [Vgl. 5, 6] und zahlreiche Posts in Social Media-Portalen [Vgl. 7–11] insbesondere die Anwendung im Kontext des *Building Information Modelings* (Abk.

BIM). Die Einsatzbereiche von generativen Chatbots lassen sich hierbei zumeist in die Kategorie Informationsextraktion aus BIM-Modellen sowie eine Kategorie mit der Funktion zur Unterstützung beim architektonischen Entwurfsprozess gliedern.

Die BIM-Methode wird als Synonym für die Digitalisierung sämtlicher Prozesse der Bauwelt angesehen [12]. Zudem wird die BIM-Methode in der Literatur als zentraler Bestandteil der digitalen Transformation der Bauwelt betrachtet [13]. Die Anwendung von generativen Chatbots kann hierbei in BIM-spezifischen Szenarien ein lebenszyklusübergreifendes Anwendungspotential bergen [14]. Hierdurch ergibt sich ein möglicher Aufschwung der Digitalisierung der Bauwelt und eine etwaige Reduktion der Hürden zur Technologieanwendung und -akzeptanz.

### 1.2 Ziel und Aufbau des Beitrags

Mit dem vorliegenden Beitrag soll aufgezeigt werden, inwieweit die Anwendung von generativen Chatbots im BIM-Kontext eine unterstützende Funktion bei der Umsetzung spezifischer BIM-Anwendungsszenarien birgt. Hierzu erfolgt zunächst eine oberflächliche Beleuchtung des technischen Hintergrundes von generativen Chatbots. Anschließend wird ein Überblick über bisherige Forschungsarbeiten sowie Ansätzen aus der Praxis gegeben.

DOI: 10.17185/dupublico/79111





Im Rahmen einer Fallstudie werden ferner zwei Strategien zur Verwendung von ChatGPT zur Informationsextraktion aus einem BIM-Modell dargestellt und analysiert. Hierdurch soll aufgezeigt werden, inwiefern ChatGPT verwendet werden kann, um Prozesse der benutzerspezifischen Informationsausgabe zu automatisieren. Darauf aufbauend wird dargestellt, welche potentiellen Herausforderungen bei der praktischen Umsetzung gegeben sind und ob sich ein Mehrwert für nutzende Personen ergeben kann. Im Fazit und Ausblick des Beitrags sind die zentralen Ergebnisse zusammengefasst. Zudem werden Limitierungen der entwickelten Ansätze und weiterer Untersuchungsbedarf beschrieben.

## 2 Zur Nutzung von generativen Chatbots im BIM-spezifischen Kontext

### 2.1 Technischer Hintergrund

*Generative Artificial Intelligence* beschreibt grundlegend KI-basierte Ansätze zur Entwicklung von Datensätzen. Die Ansätze bauen hierbei auf umfangreiche Trainingsdaten auf, wodurch sie in der Lage sind, menschenähnliche Ausgaben zu generieren. [15] Solche Ansätze gibt es für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen. So können beispielsweise mit Hilfe des Tools Midjourney Bilder aufbauend auf Nutzereingaben generiert werden [16]. Konversationelle Ansätze bzw. generative Chatbots ermöglichen es hingegen, Nutzereingaben in natürlicher Sprache zu verstehen, sie zu verarbeiten sowie entsprechend darauf zu reagieren [14]. Jene genannten Ansätze sind im Allgemeinen dem Bereich des *Natural Language Processings* (Abk. NLP) zuzuordnen. NLP beschäftigt sich grundsätzlich damit, wie Computersysteme natürliche Sprache, beispielsweise in Form von Texten, interpretieren sowie verarbeiten können. Diesbezüglich kann NLP in die beiden Abschnitte *Natural Language Understanding* sowie *Natural Language Generation* unterteilt werden. Ersteres widmet sich den Ansätzen zum Verstehen einer Spracheingabe, wohingegen zweiteres der Generierung einer Sprachausgabe dient. [17]

Unter den generativen Chatbots stellt ChatGPT derzeit denjenigen Ansatz dar, der im Fokus der medialen Aufmerksamkeit steht. ChatGPT wurde Ende 2022 von OpenAI der breiten Öffentlichkeit kostenlos zur Verfügung gestellt. Die kostenlose Variante bedient sich dem von OpenAI eigens entwickelten GPT-3.5 Sprachmodell. [18]

Unter (großen) Sprachmodellen (engl. *Large Language Models*, Abk. LLM) versteht man Ansätze, welche auf neuronalen Netzen basieren und es ermöglichen, natürliche sprachliche Texte zu verstehen sowie zu kreieren [19].

ChatGPT baut auf einer *Generative Pre-Trained Transformer* (Abk. GPT) Architektur auf. Pre-Trained bezieht sich auf den Entwicklungsprozess solcher Sprachmodelle. Die Modelle werden zunächst auf großen textuellen

Datensätzen vortrainiert und eignen sich somit an, passende Wörter aufbauend auf den vorhergehenden Wörtern vorzuschlagen. [20] In einem darauffolgenden Prozess der Feinabstimmung (engl. *fine-tuning*) kann das vortrainierte Modell mit einem spezifischen, kleineren Datensatz entsprechend trainiert werden, um in einem individuellen Anwendungsszenario eine höhere Effizienz zu erreichen [21, 22]. Der Transformer stellt eine weitere grundlegende KI-Architekturkomponente dar. Transformer ermöglichen es, sequentielle Informationen effizienter zu verarbeiten und weitreichende Verbindungen in den Eingabedaten zu bilden [21].

Die Anwendung von generativen Chatbots und den zugrundeliegenden Sprachmodellen birgt jedoch ebenfalls Einschränkungen. Im Kontext des vorliegenden Beitrags ist insbesondere die Limitierung der Halluzination zu nennen. Unter Halluzination wird die Ausgabe falscher Inhalte verstanden [21]. Im Zuge eines spezifischen Anwendungsszenarios können sich Halluzinationen somit weitreichend auswirken.

### 2.2 Generative Chatbots und ihre Anwendung im BIM-spezifischen Kontext

Die Erhebung des Stands der Wissenschaft und der Praxis zur Anwendung von generativen Chatbots im BIM-spezifischen Kontext erfolgte auf Basis einer Literatur- sowie Praxisrecherche. Da es sich um ein junges Forschungsfeld handelt, wurden die recherchierten Ergebnisse aus wissenschaftlichen Publikationen bewusst um nicht-wissenschaftliche Suchergebnisse ergänzt. Der wissenschaftliche Status Quo wurde durch auf dem Markt verfügbare Ansätze sowie prototypische Implementierungen und Fallbeispiele aus Social Media Portalen und einer nicht-wissenschaftlichen Suchmaschine ergänzt. Der Fokus der Recherche lag auf der expliziten Anwendung von ChatGPT, generativen Chatbots sowie GPT Modellen in BIM-spezifischen Fallbeispielen.

Die Literaturrecherche fand auf den Datenbanken Science Direct sowie Google Scholar mit den Suchbegriffskombinationen *"building information modeling" OR BIM AND „language model“ OR "LLM" OR "GPT" OR "ChatGPT" OR "chatbot" OR "generative ai"* statt. Eine Eingrenzung der Suchergebnisse wurde durch die ausschließliche Betrachtung Englisch-sprachiger Literatur, einer open access bedingten Verfügbarkeit sowie anhand einer Eingrenzung durch den zeitlichen Betrachtungsraum von 2022 bis 2023 erreicht. Bei den betrachteten Ansätzen kann eine grundlegende Kategorisierung festgestellt werden. Es konnten Ansätze zur Informationsextraktion aus BIM-Modellen, Ansätze, die den architektonischen, BIM-basierten Entwurfsprozess unterstützen sowie eine Vermischung jener Kategorisierungen identifiziert werden.

Weiterführend lassen sich die identifizierten Ansätze hinsichtlich der Verwendung von generativen Chatbots für

die Entwicklung des jeweiligen Ansatzes oder des grundlegenden Aufbaus auf einem Chatbots bzw. seiner Technologie unterscheiden.

Zheng und Fischer [23] entwickelten im Rahmen ihrer Untersuchung einen GPT-basierten Prototypen zur effizienten Informationsextraktion aus BIM-Modellen. Das Ergebnis ihrer Untersuchung ist ein virtueller Assistent mitsamt BIM-Viewer, welcher es ermöglicht, natürliche Spracheingaben etwaiger Nutzenden zur Informationsextraktion aus BIM-Modellen aufzugreifen und entsprechend durchzuführen. Das hierfür eigens entwickelte BIM-GPT Framework basiert u. a. auf der OpenAI API. Mit ihrem entwickelten Ansatz konnten sie das Potential von GPT-Ansätzen in Kombination mit BIM sowie die Machbarkeit der automatisierten Informationsextraktion aus BIM-Modellen mittels eines GPT-Modells aufzeigen. Eine fehlende Evaluierung der tatsächlichen Nutzbarkeit des Ansatzes sollte in weiterführenden Untersuchungen überprüft werden. [23] Lin [24] stellt in seiner Veröffentlichung einen entwickelten konversationellen Chatbot vor, welcher für Baustellen-Szenarien als explizite Verwendung durch Baustellenarbeitende angedacht ist. Mit dem Konversations-basierten Ansatz sollen etwaige Technikhürden bei der Informationsextraktion aus einem BIM-Modell reduziert werden. Der entwickelte Ansatz basiert auf dem bestehenden Chatbot JULIE und ermöglicht, Nutzerfragen zu verstehen, die notwendigen Informationen aus einem BIM-Modell, vorliegend als Datenbank, zu extrahieren und schlussendlich grafisch auszugeben. Im Fokus der Studie stand die Abfrage gezielter Informationen zu Bauteilabmessungen sowie zur Bestimmung des Geschossdeckenabstands. Die korrekte Abfrage gezielter Informationen konnte mit einer ausreichenden Genauigkeit anhand eines Fallbeispiels dargestellt werden. Schwächen des Ansatzes liegen laut Lin [24] in der Abfrage von Informationen, welche über Bauteilabmessungen hinaus gehen. Der Ansatz müsste entsprechend erweitert werden, um die Abfrage aus weiteren gängigen Datenformaten, wie \*.docx oder \*.pdf, zu inkludieren. [24]

Ko et al. [25] stellen Ansätze zur generativen KI-basierten BIM-Modellierung für den architektonischen Entwurfsprozess vor. Diesbezüglich verwenden sie zunächst ChatGPT zur Ausgabe der architektonischen Anforderungen des angedachten Entwurfs als Code für die jeweilige Modellierungssoftware-spezifische API. Der Code wird folglich über die visuellen Programmieroberflächen der jeweiligen Modellierungssoftwares ausgeführt. Ko et al. unternahmen zwei exemplarische Untersuchungen: Zum einen wurde ChatGPT in Verbindung mit der BIM-Autorensoftware Autodesk Revit und der visuellen Programmieroberfläche Dynamo verwendet. Zum anderen erfolgte die Untersuchung in Kombination mittels der 3D-Modellierungssoftware Rhino sowie deren visuelle Programmieroberfläche Grasshopper. Im nächsten Schritt wurde das bereits auf dem Markt verfügbare Software-Tool Veras zur KI-unterstützten Visualisierungserstellung genutzt. Veras

ermöglicht die Erstellung von 2D-Renderings aufbauend auf BIM-Modellen und nutzt einen generativen KI-Ansatz, welcher die natürlichen Spracheingaben der Nutzenden umsetzt und so beispielsweise den Hintergrund der Szenerie oder die Materialien gezielter Bauteile abändert. Anhand ihrer experimentellen Untersuchungen konnten Ko et al. feststellen, dass die vorgestellten Ansätze zu einem effizienteren sowie kreativeren architektonischen Entwurfsprozess beitragen können. Unklarheiten der Tauglichkeit des Ansatzes ergeben sich für denkbar komplexere Entwurfsideen. [25]

Zur Unterstützung des architektonischen Entwurfsprozesses eruierten Jang und Lee [26] die Verwendung von generativen KI-Ansätzen. Ihr Software-basierter Ansatz wurde gänzlich unter Verwendung von ChatGPT entwickelt und umfasst drei Komponenten. Zwei der Komponenten ermöglichen einerseits den Export eines BIM-Modells aus Autodesk Revit als \*.xml-Datei sowie den späteren Import der modifizierten \*.xml-Datei mit dem Ziel einer entsprechenden Anpassung des Modells. Zwischen den beiden Export- und Import-Komponenten befindet sich die Komponente zum generativen, KI-basierten interaktiven, architektonischen Design. Jang und Lee validierten ihre Komponenten in einem Fallbeispiel zur Planung von Wandaufbauten im Entwurfsprozess. Aufbauend auf im Revit-Modell hinterlegten Attributen zur örtlichen Platzierung der Bauteile konnte der Ansatz sinnvolle Vorschläge zur Wanddetaillierung aus einem vorab definierten Pool von Möglichkeiten ausgeben. Ihr entwickelter Ansatz bekräftigt die grundlegende Verwendung von generativen Chatbots im architektonischen Entwurfsprozess, weist jedoch aufgrund des gering skalierten Fallbeispiels eine bedingte Praxistauglichkeit auf. [26]

Der von Saka et al. [14] entwickelte Prototyp ermöglicht sowohl die Informationsextraktion aus einem BIM-Modell als auch die Unterstützung des architektonischen Entwurfsprozesses. Grundlegend gestattet das Tool eine auf ChatGPT-basierende Interaktion mit einem BIM-Modell. Im vorliegenden Fallbeispiel werden die Nutzenden im architektonischen Entwurfsprozess unterstützt, indem Vorschläge zur Wahl des optimalen Materials für ein spezifisches BIM-Objekt ausgegeben werden. ChatGPT wird in diesem Ansatz konkret verwendet, um die Nutzereingaben zu erkennen, die notwendigen Bauteil-bezogenen Informationen aus einer JSON-Datei des BIM-Modells zu extrahieren sowie Materialvorschläge aufbauend auf den Anforderungen der nutzenden Person auszugeben. Hierbei werden sowohl die Anforderungen aus der Nutzereingabe als auch die im BIM-Modell gegebenen Bedingungen beachtet. Weiterhin ermöglicht der Ansatz, das zu betrachtende Bauteil im integrierten BIM-Viewer des Tools farblich hervorzuheben. Dank des entwickelten Prototypen konnten Saka et al. [14] aufzeigen, dass ihr ChatGPT-basierter Ansatz eine Extraktion der geforderten Informationen aus dem BIM-Modell ermöglicht sowie umfangreiche und sinnvolle Vorschläge zu Materialien erzeugen

kann. Weiterführende Studien könnten sich insbesondere der Optimierung des ChatGPT Modells im Sinne einer Effizienzoptimierung und genauerer Nutzerantworten widmen. [14]

Die Praxisrecherche fand auf dem Suchportal Google sowie über die Social Media Plattformen YouTube und LinkedIn mit den Suchthermen *ChatGPT BIM*, *ChatGPT Revit*, *ChatGPT ifc*, *Text-to-BIM* statt. Bei den ausgewählten recherchierten Ergebnissen wird im Folgenden grundlegend zwischen auf dem Markt frei verfügbaren sowie etablierten Ansätzen und einzelnen prototypischen Implementierungen unterschieden. Weiterhin spiegelt sich die Einordnung der Ansätze nach der Anwendung zur Informationsextraktion sowie zur Unterstützung des architektonischen Entwurfsprozesses wider. Die identifizierten etablierten Ansätze beinhalten Chatbot-Konzepte, wohingegen im Rahmen der identifizierten prototypischen Implementierungen zumeist generative Chatbots zur eigentlichen Umsetzung des Ansatzes verwendet wurden. Letztere Ansätze konnten insbesondere in den Social Media Portalen identifiziert werden.

Im Kontext des zu erwerbenden Tools Hypar wird der Begriff Text-to-BIM verwendet. Es handelt sich hierbei um ein webbasiertes Tool mit einer interaktiven graphischen Oberfläche. Aufbauend auf Nutzereingaben können Bauwerksinformationsmodelle erzeugt werden kann. Hypar ermöglicht dies mittels eines NLP Ansatzes, welcher die Nutzereingaben verarbeitet und dies entsprechend als Modell umsetzt. Die Plattform eignet sich zur Erstellung von Gebäudeentwürfen und bietet weitere Möglichkeiten, beispielsweise zur Tageslichtsimulation, an. Darüber hinaus sind Schnittstellen zu gängigen Modellierungssoftwares sowie Exportmöglichkeiten, beispielsweise als \*.ifc-Datei, gegeben. [5, 27]

Das käufliche Tool Veras ermöglicht eine KI-unterstützte Visualisierung von BIM-Modellen und steht für gängige Modellierungssoftwares als Add-In zur Verfügung. Aufbauend auf einem BIM-Modell und spezifischen Nutzereingaben können mit Veras KI-basierte 2D-Visualisierungen erstellt werden. Veras generativer Ansatz verarbeitet die Nutzereingaben entsprechend und kann somit beispielsweise Hintergrundszenerien erschaffen oder Bauteile mit individuellen Materialien belegen. [6, 25] Konkrete Informationen zu den zugrundeliegenden technologischen Prinzipien konnten, neben der unspezifischen Nennung der Verwendung eines KI-Ansatzes [6], nicht identifiziert werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Nutzereingaben mittels eines NLP Ansatzes verarbeitet werden und gegebenenfalls ein weiterer KI-basierter Ansatz zur Ausgabe der 2D-Visualisierungen gegeben ist. Speckle ist eine open source Datenplattform für die AEC Branche und kann als Common Data Environment für BIM-Projekte verwendet werden. Es baut nicht auf dem gängigen IFC Standard auf. Stattdessen wird eine API zur Verfügung gestellt, sodass spezifische Schnittstellen zu

weiteren Anwendungssoftwares geschaffen werden können. Es existieren bereits vielzählige Schnittstellen mit gängigen Softwareprodukten der AEC Branche. [28] In einem Blogartikel stellt Speckle einen prototypischen ChatGPT-basierten, konversationellen Ansatz für seine Plattform vor. Dieser gestattet durch die Eingabe nutzerspezifischer Fragen eine Informationsausgabe aus ausgewählten BIM-Objekten. Zudem wird die Interaktion und Informationsextraktion aus angehängten \*.pdf-Dateien ermöglicht. [29]

Bei den betrachteten prototypischen Implementierungsansätzen aus den Social Media Portalen [Vgl. 10, 11, 30] handelt es sich um Szenarien der ChatGPT Nutzung im Kontext von Autodesk Revit und dessen visueller Programmieroberfläche Dynamo. Die erfolgreich umgesetzten Beispiele widmen sich der BIM-Modell-Erstellung bzw. -Modifikation. ChatGPT wurde für die Erstellung entsprechender Python Codes verwendet, welche im nächsten Schritt über Dynamo implementiert wurden. [Vgl. 10, 11, 30]

Die identifizierten prototypischen Ansätze aus dem Social Media Portal LinkedIn [Vgl. 7–9] sowie dem Forum der OSArch Community [Vgl. 31] thematisieren die Verwendung von ChatGPT im Umgang mit \*.ifc-Dateien. ChatGPT wurde wiederum für die Erstellung von Programmiercodes verwendet. Die auf LinkedIn geposteten Ansätze demonstrieren insbesondere die Informationsextraktion aus \*.ifc-Dateien und eine entsprechende Nachbearbeitung [Vgl. 7–9]. Der Forumsbeitrag der OSArch Community beschreibt die grundlegende Machbarkeit der Geometriegenerierung und eine darauffolgende Speicherung als \*.ifc-Datei mittels eines Python-Skripts, welches auf Basis von ChatGPT-Eingaben entwickelt wurde [Vgl. 31].

### 3 Fallstudie

Mit Hilfe der vorliegenden Fallstudie werden weitere Möglichkeiten zur Verwendung von ChatGPT zur Informationsextraktion aus BIM-Modellen vorgestellt. Zentrales Augenmerk liegt auf der Fragestellung, inwiefern ChatGPT im BIM-spezifischen Kontext zur Automatisierung von Prozessen der benutzerspezifischen Informationsausgabe genutzt werden kann. Hinzukommend ergaben sich die folgenden Fragestellungen:

- Welche Herausforderungen ergeben sich bei der Verwendung von ChatGPT zur Automatisierung von Prozessen der Informationsextraktion im BIM-spezifischen Kontext?
- Ergibt sich ein Mehrwert für nutzende Personen bei der Umsetzung des genannten Szenarios?

### 3.1 Fallbeschreibung



**Bild 1** Ausgewähltes BIM-Modell der Fallstudie

Das BIM-Modell der Fallstudie (siehe Bild 1) ist ein einfaches Modell aus der universitären Lehre des ICoM und liegt als proprietäre \*.rvt-Datei der BIM-Autorensoftware Autodesk Revit 2024 sowie als \*.ifc-Datei des genormten Standards IFC vor.

In dem fiktiven Fallbeispiel sollen für eine Mengenermittlung automatisiert die Volumina der strukturellen Bauteile des Bauwerks ermittelt werden. Konkret soll je Bauteiltyp die Anzahl der Bauteile und deren jeweilig summiertes Gesamtvolumen als \*.csv-Datei ausgegeben werden.

Zur Anwendung der BIM-Autorensoftware Autodesk Revit sowie zur generellen BIM-Anwendung, Programmierung und zum ChatGPT-Gebrauch wird von basalen Kenntnissen ausgegangen. Aufgrund vielversprechender Ansätze zur Nutzung von generativen Chatbots im BIM-spezifischen Kontext auf gängigen Social Media Plattformen [Vgl. 7–11, 30] soll ChatGPT für die Umsetzung der angestrebten Informationsextraktion verwendet werden. Bei der Realisierung des Ansatzes sollen die folgenden Anforderungen beachtet werden:

- Es sollen Ansätze für die beiden zur Verfügung stehenden Dateien des BIM-Modells erörtert werden.
- Es soll eine kostenlose Alternative zur proprietären BIM-Autorensoftware eruiert werden.
- Die gesuchten Informationen sollen aus Objekten der Objekttypen Wände, Geschossdecke, Fundamente, Stütze und Unterzüge ausgelesen werden.
- Die Entwicklungszeit soll möglichst klein gehalten werden.
- Der Ansatz soll benutzerfreundlich und wiederverwendbar sein.

### 3.2 Design der Fallstudie

Aufbauend auf der Literatur- sowie Praxisrecherche konnte festgestellt werden, dass ChatGPT unter anderem ausführbare Codes für die visuelle Programmieroberfläche Dynamo [Vgl. 10, 11, 25, 30] sowie für das IFC Toolkit *IfcOpenShell* [Vgl. 31] erzeugen kann. In Kombination mit den festgelegten Anforderungen ergaben sich die folgenden zu erörternden Strategien zur Umsetzung der Fallstudie:

- Strategie 1: Verwendung der \*.rvt-Datei – ChatGPT wird genutzt, um in Autodesk Revit 2024

über die Revit API und die visuelle Programmieroberfläche Dynamo die notwendigen Informationen aus der \*.rvt-Datei des BIM-Modells auszulesen und als \*.csv-Datei auszugeben.

- Strategie 2: Verwendung der \*.ifc-Datei – ChatGPT wird genutzt, um über einen openBIM-basierten Ansatz die notwendigen Informationen aus der \*.ifc-Datei des BIM-Modells auszulesen und als \*.csv-Datei auszugeben. Hierfür wird die Open Source Library *IfcOpenShell* verwendet. Die prototypische Implementierung erfolgt in der Entwicklungsumgebung Microsoft Visual Studio Code.

Zum Einsatz kam ChatGPT mit dem GPT-3.5 Modell. Für die initialen Eingaben in ChatGPT wurden bewusst ähnliche Formulierungen getroffen, welche sich lediglich hinsichtlich der jeweiligen Tools und ihrer Dateiformate unterscheiden. Hierdurch sollen gleiche Startbedingungen geschaffen werden. Der folgende Absatz zeigt die initiale Eingabeaufforderung. Die unterschiedlichen Textstellen der beiden Strategien sind durch eckige Klammern ange deutet.:

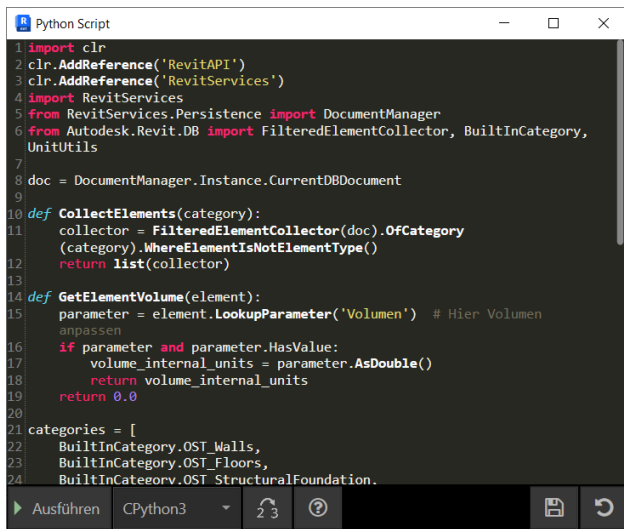
*Aus einem BIM-Modell, welches als [\*.rvt/\*.ifc]-Datei vorliegt, sollen die Volumina aller Wände, Geschossdecken, Fundamente, Stützen und Unterzüge ausgelesen werden. Konkret soll die Anzahl der Bauteile je Bauteiltyp und deren jeweilig summiertes Gesamtvolumen als \*.csv-Datei ausgegeben werden. Setze dieses Szenario [für Autodesk Revit] als Python Skript [zur Implementierung über Dynamo und] unter Verwendung [der Revit API/ IfcOpenShell] um.*

Um die zu erwartenden Ergebnisse der Ansätze hinsichtlich ihrer Richtigkeit zu überprüfen, wurden die Anzahl der Bauteile sowie die Summen der Volumina einerseits aus einer in Autodesk Revit 2024 automatisiert erstellen Materialliste sowie mittels händischer Überprüfung der eigentlichen \*.ifc-Datei entnommen.

### 3.2 Umsetzung der Fallstudie

Grundlegend lässt sich ein Python Code in Dynamo über einen Python Script Knoten (siehe Bild 2) eingeben sowie ausführen. Die Verwendung von benutzerspezifischen Python Knoten in Dynamo anstelle der generell zur Verfügung stehenden Dynamo Knoten und Verbindungen ermöglicht es, geforderte Tasks in einer reduzierten, grafisch übersichtlicheren Form darzustellen sowie auf umfangreichere Möglichkeiten bei der Programmierung zurückzugreifen. Hierbei können beispielsweise die Funktionen der Revit API aufgegriffen werden. Python ist in Dynamo als IronPython implementiert und ermöglicht somit eine reibungslose Interaktion mit dem zugrundeliegenden .NET-Framework. Aufgrund der Tatsache, dass IronPython ein open source Projekt ist, kann es vorkommen, dass die Implementierung nicht auf dem Stand der jeweils aktuellen Python Version ist. Hierdurch können gegebenenfalls

externe Bibliotheken aufgrund fehlender Kompatibilitäten nicht eingebunden werden. [32]



```

1 import clr
2 clr.AddReference('RevitAPI')
3 clr.AddReference('RevitServices')
4 import RevitServices
5 from RevitServices.Persistence import DocumentManager
6 from Autodesk.Revit.DB import FilteredElementCollector, BuiltInCategory,
  UnitUtils
7
8 doc = DocumentManager.Instance.CurrentDBDocument
9
10 def CollectElements(category):
11     collector = FilteredElementCollector(doc).OfCategory
12     (category).WhereElementIsNotElementType()
13     return list(collector)
14
15 def GetElementVolume(element):
16     parameter = element.LookupParameter('Volumen') # Hier Volumen
17     anpassen
18     if parameter and parameter.HasValue:
19         volume_internal_units = parameter.AsDouble()
20         return volume_internal_units
21     return 0.0
22
23 categories = [
24     BuiltInCategory.OST_Walls,
25     BuiltInCategory.OST_Floors,
26     BuiltInCategory.OST_StructuralFoundation,
27 ]
  
```

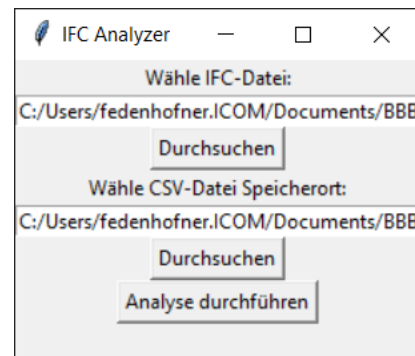
**Bild 2** Python Script Knoten mit entwickeltem Code

Ergebnis der initialen Eingabe des Starttextes in ChatGPT war ein erstes Python Skript zur Ausführung in Dynamo mitsamt beschreibenden Anmerkungen. In einer regen Kommunikation [33] mit dem Chatbot konnte innerhalb von 70 Minuten ein brauchbarer Ansatz erarbeitet werden, welcher den Anforderungen genügt. Schwierigkeiten bei der Umsetzung ergaben sich aus der Fehleranfälligkeit von ChatGPT bei der Wahl korrekter Revit API Funktionen. Durch die interaktive Kommunikation mit dem Chatbot können jedoch die Fehlermeldungen aus Dynamo zurückgespielt werden und der Code wird entsprechend angepasst. Ein wertvoller dem YouTube-Video [30, 5:50] entnommener Hinweis zum fälschlich von ChatGPT vorgeschlagenen Zugriff auf das aktuelle Revit Dokument wurde entsprechend beachtet und umgesetzt. Weitere Schwierigkeiten entstanden bei der Ermittlung der Volumina. Während zunächst das Volumen aufgrund der Wahl eines falschen Attributes nicht ausgelesen werden konnte, kam es im nächsten Schritt zu einer scheinbar falschen Ergebnisausgabe. Die vermeintlich in Kubikmeter ausgegeben summierten Volumina wichen vom tatsächlich zu erwartenden Ergebnis ab. Die Ursache des Problems lag in den internen Einheiten der Revit API. Diese greift auf den imperialen Fuß zur Längenbeschreibung zurück [34]. Demnach werden Volumina standardmäßig in Kubikfuß ermittelt. Nach einer entsprechenden Konvertierung der Ergebnisse konnten die geforderten Informationen in der korrekten Einheit als \*.csv-Datei ausgegeben werden.

Bei der zweiten, zu untersuchenden Strategie der Fallstudie wurde per ChatGPT ein Python Code generiert, welcher über die kostenlose Entwicklungsumgebung Microsoft Visual Studio Code implementiert wurde. Für den Python-basierten Umgang mit dem Datenstandard IFC wurde gezielt die open source Bibliothek *IfcOpenShell* ausgewählt. Jene Bibliothek ermöglicht dank zahlreicher

Funktionen unter anderem die Kreation und Modifikation von \*.ifc-Dateien sowie eine gezielte Informationsextraktion [35].

Nach Eingabe der initialen Aufforderung in ChatGPT ergab sich binnen Minuten ein erster brauchbarer Ansatz. Ein finaler Stand, welcher die Anforderungen bedient, konnte nach 80 Minuten Bearbeitungszeit erstellt werden [36]. Während des ersten Vorschlages mussten die Dateipfade zum Import sowie Export händisch eingegeben werden. Auf eine zusätzliche Anweisung zur Wahl einer interaktiven Dateieingabe sowie -ablage kreierte ChatGPT mit Hilfe der *tkinter* Bibliothek eine grafische Oberfläche für das Skript (siehe Bild 3).



**Bild 3** Grafische Bedienoberfläche des Python Skriptes

Maßgebende Probleme dieser Umsetzung ergaben sich bei der Entnahme der Volumina aus der \*.ifc-Datei. Trotz wiederholter Versuche konnte ohne eine gezielte Steuerung des Dialogs nicht das tatsächlich gesuchte Netto-Volumen der einzelnen Bauteile entnommen werden. Generell liegt das Volumen eines Bauteils als Objekt der Klasse *IfcQuantityVolume* vor. *IfcQuantityVolume* besitzt konkrete Attribute zur Beschreibung der jeweiligen Instanz. Unter dem Attribut *Name* wird festgelegt, ob es sich beispielsweise um das *NetVolume* (Netto-Volumen) oder *GrossVolume* (Brutto-Volumen) handelt. Weiterhin ist *IfcQuantityVolume* in einem Mengen-bezogenen Eigenschaftensatz *IfcElementQuantity* verortet. Ein Eigenschaftensatz wie *IfcElementQuantity* ist wiederum einem konkreten *IfcObject* mit der Verbindung *IfcRelDefinesByProperties* zugeordnet. [37]

Erst durch eine konkrete Eingabe jener semantischen Verbindungen in den Chatdialog konnte ein Python Code generiert werden, welcher den Anforderungen genügt. Schlussendlich konnte auf Nachfrage hin eine Anweisung ausgegeben werden, um das Skript mittels der Python Library *pyinstaller* als eigenständig ausführbare Datei umzusetzen.

Die erzeugten Python Skripte der Strategien sowie die entsprechenden Chatdialoge sind unter dem folgenden Link einzusehen:

[https://github.com/fjeden/BBB\\_Beitrag\\_Edenhofner\\_2023](https://github.com/fjeden/BBB_Beitrag_Edenhofner_2023)

### 3.3 Diskussion der Fallstudie

Bei der Umsetzung der beiden Strategien konnten in einem subjektiv empfunden akzeptablen Zeitrahmen von 70-80 Minuten zwei funktionierende Prototypen für die zur Verfügung stehenden Dateien des BIM-Modells entwickelt werden. Die Prototypen ermöglichen es, die gesuchten Informationen korrekt aus den geforderten Objekten auszulesen und als \*.csv-Datei auszugeben. Die Wiederverwendbarkeit beider Ansätze ist grundsätzlich gegeben. Das Ergebnis der Strategie 1 kann als \*.dyn-Datei weitergegeben werden und prinzipiell in anderen Projekten wiederverwendet werden. Mit dem Outcome der Strategie 2 kann sowohl das Python Skript über eine Entwicklungsumgebung als auch das kreierte ausführbare Programm ausgeführt werden. Letzteres stellt im Vergleich zu den anderen entwickelten Ansätzen eine äußerst benutzerfreundliche Option dar und kann hierdurch zu einer Reduktion etwaiger Vorbehalte bei der Anwendung der entwickelten Ansätze beitragen. Weiterhin erfüllt das Ergebnis der Strategie 2 das Kriterium einer kostenlosen Alternative zur proprietären BIM-Autorensoftware Autodesk Revit 2024. Die in der Fallstudie umgesetzten Strategien stellen denkbare Ansätze zur Verwendung von ChatGPT im BIM-spezifischen Kontext dar und bekräftigen das in der Literatur- und Praxisrecherche aufgezeigte Potential zu ebenjener Verwendung. Mit den entwickelten Prototypen werden Möglichkeiten aufgezeigt, inwiefern ChatGPT im BIM-spezifischen Kontext genutzt werden kann, um Prozesse der benutzerspezifischen Informationsausgabe zu automatisieren.

Die Umsetzung beider Strategien barg Herausforderungen, welche in einem praxisnahen Szenario von den Nutzenden zu beachten sind.

Die Hürden der Strategie 1 lagen vor allem in den von ChatGPT fälschlich vorgeschlagenen Revit API Funktionen sowie der Eigenheit von Autodesk Revit, einige interne Einheiten im imperialen System anzusetzen. Anhand der interaktiven Kommunikation mit dem Chatbot können etwaige Fehler bezüglich fälschlich angesetzter Funktionen zurückgespielt werden. Jedoch führte dies bei der Umsetzung unzuverlässig zum gewünschten Ergebnis. Des Weiteren ist unklar, ob ein brauchbarer Ansatz ohne den Hinweis des ermittelten YouTube Videos [30, 5:50] hätte entwickelt werden können. Die Problematik der imperialen Einheiten konnte aufgrund einer initial subjektiven Vermutung sowie einer weiterführenden Recherche aufgeklärt werden. Die aufgetretenen Hürden der Strategie 1 zeigen, dass bei der Umsetzung ähnlicher Szenarien ein grundlegendes Verständnis der Revit API von Vorteil ist. Weiterhin sind fundamentale Programmierkenntnisse von Vorteil, um die entwickelten Codes verstehen sowie etwaige Fehler beurteilen zu können. Kenntnisse zur Anwendung von Autodesk Revit und Dynamo sind obligatorisch.

Die aufgetretenen Hürden bei der Umsetzung der zweiten Strategie lagen maßgeblich in der wiederholt falschen

Wahl der korrekten IfcOpenShell Funktionen zur Extraktion der gesuchten Informationen. Aufbauend auf einer eigenständigen Recherche des IFC Standards sowie einer gezielten Steuerung des Chatdialogs konnte das gewünschte Ergebnis erreicht werden. Ein Grundverständnis des objektorientierten IFC Standards ist von Vorteil. Die Entwicklung eines ähnlichen Ansatzes bedarf sowohl Programmierkenntnisse als auch Kompetenzen zum Umgang mit einer Entwicklungsumgebung wie Microsoft Visual Studio Code. Letzteres birgt die Chance, den zu entwickelnden Ansatz mittels Debugging zu überprüfen und ermöglicht somit, Fehler im vorgeschlagenen Code leichter zu finden.

Bei dem vorliegenden Szenario der Informationsextraktion der Bauteilvolumina handelt es sich um eine simple Informationsabfrage zum Zweck der Mengenbestimmung. Die Umsetzung solcher Mengenbestimmungen kann von bestehenden Ansätzen wie Materiallisten in Autodesk Revit oder BIM-fähige AVA-Softwares entsprechend erfolgen. Es wurde ein reduziertes Szenario gewählt, um die grundlegende Machbarkeit aufzuzeigen sowie etwaige Herausforderungen und Chancen zu identifizieren. Limitationen der vorgestellten Möglichkeiten ergeben sich aus der geringen Komplexität des Fallbeispiels. In weiterführenden Untersuchungen sollten praxisnähere sowie komplizierte Abfragen zur Informationsextraktion ausgewählt werden. Eine grundlegende Praxistauglichkeit zur Verwendung von ChatGPT, um Prozesse der benutzerspezifischen Informationsausgabe aus BIM-Modellen zu automatisieren, konnte anhand der vorliegenden Fallstudie aufgezeigt werden. Bei der Umsetzung komplizierterer Szenarien der Informationsausgabe ist ein Basiswissen der zugrundeliegenden Ansätze unabdingbar.

Mehrwerte ergeben sich bei der Umsetzung ähnlicher Szenarien zum einen durch die Möglichkeit, benutzerspezifische Informationsausgaben zu automatisieren, ohne hierfür tiefgreifende Anwendungs- bzw. Programmierkenntnisse besitzen zu müssen. Zum anderen kann ein Ansatz resultieren, welcher den benutzerspezifischen Anforderungen genügt und wiederverwendet werden kann. Ferner bietet die Realisierung eines solchen Szenarios die Chance, sich umfangreich mit der BIM-Methode zu beschäftigen und einen wertvollen Wissenszuwachs zu generieren.

Bei der Wahl des geeigneten Ansatzes sollten die gegebenen Rahmenbedingungen beachtet werden. Darunter fallen beispielsweise die vorliegenden Software-Tools und Dateien sowie der vorhandene Wissensstand.

## 4 Fazit und Ausblick

Der vorliegende Beitrag zeigt Anwendungsmöglichkeiten von generativen Chatbots im BIM-spezifischen Kontext auf. Mit einer einleitenden Literatur- und Praxisrecherche konnte ein Einblick in den Stand der Wissenschaft sowie der Praxis gegeben werden. Die Ergebnisse aus

wissenschaftlichen Publikationen wurden hierbei um nicht-wissenschaftliche Suchergebnisse erweitert, um den wissenschaftlichen Status Quo durch auf dem Markt verfügbare Ansätze sowie prototypische Implementierungen und Fallbeispiele zu ergänzen. Die vorgestellten Ansätze wurden folgendermaßen differenziert: Es konnten einerseits Ansätze zur Informationsextraktion aus BIM-Modellen identifiziert werden. Andererseits wurden Ansätze erfasst, die den architektonischen, BIM-basierten Entwurfsprozess unterstützen. Darüber hinaus konnte eine Mischkategorie erkannt werden. Zu unterscheiden gilt außerdem, ob generative Chatbots für die Entwicklung des jeweiligen Ansatzes verwendet wurden oder ob in dem Ansatz Komponenten eines Chatbots integriert wurden.

Für die ausgewählten Umsetzungsstrategien der BIM-basierten Informationsausgaben konnten zwei funktionsfähige Prototypen entwickelt werden.

Die erfolgreiche Umsetzung der gewählten Strategien zeigt das Potential zur Verwendung von ChatGPT im BIM-spezifischen Kontext. Herausforderungen bei der Umsetzung ergaben sich allem voran durch von ChatGPT falsch angesetzten Funktionen. Der interaktive Chatdialog ermöglicht es jedoch, Fehler zurückzuspielen und neue Lösungsvarianten zu generieren. Dennoch ist für eine erfolgreiche Umsetzung ähnlicher Szenarien ein Basiswissen der zu verwendenden Technologien empfehlenswert. Ein konkreter Mehrwert ergibt sich folglich dadurch, dass Prozesse automatisiert werden können, ohne tiefgreifende Anwendungs- bzw. Programmierkenntnisse besitzen zu müssen. Somit kann ein nutzbarer und wiederverwendbarer Ansatz entwickelt sowie umfangreiches Wissen zur BIM-Methode generiert werden.

In weiteren Untersuchungen sollten komplexere Fallbeispiele gewählt werden, um die Praxistauglichkeit von generativen Chatbots im BIM-spezifischen Kontext umfassender zu validieren. Ebenso sollten verschiedene Chatbot-Ansätze mit gegebenenfalls neueren Sprachmodellen eruiert werden. Nicht zu missachten bei der Entwicklung weiterer Chatbot-basierter Ansätze sind potentiell auftretende Halluzinationen bei der Chatbot-Ausgabe. In Abhängigkeit der Tragweite eines denkbar realistischen Anwendungsszenarios der AEC Branche können mögliche Halluzinationen schwerwiegenden Auswirkungen haben. Es empfiehlt sich daher, Entwicklungen umfangreich zu validieren, bevor sie ihre Anwendung in der Praxis finden.

## 5 Literatur

- [1] M. Abdullah, A. Madain und Y. Jararweh, „ChatGPT: Fundamentals, Applications and Social Impacts“ in *2022 Ninth International Conference on Social Networks Analysis, Management and Security (SNAMS)*, Milan, Italy, 2022, S. 1–8, doi: 10.1109/SNAMS58071.2022.10062688.
- [2] S. Jalil, S. Rafi, T. D. LaToza, K. Moran und W. Lam, „ChatGPT and Software Testing Education: Promises & Perils“ in *2023 IEEE International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops (ICSTW)*, Dublin, Ireland, 2023, S. 4130–4137, doi: 10.1109/ICSTW58534.2023.00078.
- [3] E. Kasneci *et al.*, „ChatGPT for good? Opportunities and challenges of large language models for education“, *Learning and Individual Differences*, Jg. 103, S. 102274, 2023, doi: 10.1016/j.lindif.2023.102274.
- [4] A.Shaji George, A.S.Hovan George und A.S.Gabrio Martin, „A Review of ChatGPT AI's Impact on Several Business Sectors“, 2023, doi: 10.5281/ZENODO.7644359.
- [5] Hypar Inc, *HYPAR*. [Online]. Verfügbar unter: <https://hypar.io/> (Zugriff am: 18. August 2023).
- [6] Evolve Lab, *VERAS*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.evolveai.io/veras> (Zugriff am: 18. August 2023).
- [7] I. Fahdah. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7079789208801882113?updateEntityUrn=urn%3Ali%3Afs\\_updateV2%3A%28urn%3Ali%3Aactivity%3A7079789208801882113%2CFEED\\_DETAIL%2CEMPTY%2CDEFAULT%2Cfalse%29](https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7079789208801882113?updateEntityUrn=urn%3Ali%3Afs_updateV2%3A%28urn%3Ali%3Aactivity%3A7079789208801882113%2CFEED_DETAIL%2CEMPTY%2CDEFAULT%2Cfalse%29) (Zugriff am: 18. August 2023).
- [8] D. Garbuzenko. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7052553883205726209?updateEntityUrn=urn%3Ali%3Afs\\_updateV2%3A%28urn%3Ali%3Aactivity%3A7052553883205726209%2CFEED\\_DETAIL%2CEMPTY%2CDEFAULT%2Cfalse%29](https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7052553883205726209?updateEntityUrn=urn%3Ali%3Afs_updateV2%3A%28urn%3Ali%3Aactivity%3A7052553883205726209%2CFEED_DETAIL%2CEMPTY%2CDEFAULT%2Cfalse%29) (Zugriff am: 18. August 2023).
- [9] V. Scopece. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7019619105217347584?updateEntityUrn=urn%3Ali%3Afs\\_updateV2%3A%28urn%3Ali%3Aactivity%3A7019619105217347584%2CFEED\\_DETAIL%2CEMPTY%2CDEFAULT%2Cfalse%29](https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7019619105217347584?updateEntityUrn=urn%3Ali%3Afs_updateV2%3A%28urn%3Ali%3Aactivity%3A7019619105217347584%2CFEED_DETAIL%2CEMPTY%2CDEFAULT%2Cfalse%29) (Zugriff am: 18. August 2023).
- [10] The BIM Coordinator, *Revit 2024 and Python | Streamlining Model Setup with ChatGPT | Building Smarter, Faster Models*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=ZCU70AbFD24> (Zugriff am: 18. August 2023).
- [11] thisendup76, *Chat GPT - success story*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.reddit.com/r/bim/comments/10zssra/chat\\_gpt\\_success\\_story/](https://www.reddit.com/r/bim/comments/10zssra/chat_gpt_success_story/) (Zugriff am: 18. August 2023).
- [12] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „BIM4INFRA2020\_AP4\_Teil8“, 2019. [Online]. Verfügbar unter: [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020\\_AP4\\_Teil8.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil8.pdf)

- [13] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen, *Beitrag der Digitalisierung zur Produktivität in der Baubranche*, 2019. Aufl. Bonn, 2019.
- [14] A. Saka *et al.*, „GPT Models in Construction Industry: Opportunities, Limitations, and a Use Case Validation“, 30. Mai 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2305.18997>.
- [15] F. García-Peñalvo und A. Vázquez-Ingelmo, „What Do We Mean by GenAI? A Systematic Mapping of The Evolution, Trends, and Techniques Involved in Generative AI“, *IJIMAI*, In Press, In Press, S. 1, 2023, doi: 10.9781/ijimai.2023.07.006.
- [16] Midjourney, *Midjourney*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.midjourney.com/home/> (Zugriff am: 3. September 2023).
- [17] D. Khurana, A. Koli, K. Khatter und S. Singh, „Natural language processing: state of the art, current trends and challenges“ (eng), *Multimedia tools and applications*, Jg. 82, Nr. 3, S. 3713–3744, 2023, doi: 10.1007/s11042-022-13428-4.
- [18] OpenAI, *Introducing ChatGPT*. [Online]. Verfügbar unter: <https://openai.com/blog/chatgpt> (Zugriff am: 3. September 2023).
- [19] Y. Shen *et al.*, „ChatGPT and Other Large Language Models Are Double-edged Swords“ (eng), *Radiology*, Jg. 307, Nr. 2, e230163, 2023, doi: 10.1148/radiol.230163.
- [20] S. S. Gill und R. Kaur, „ChatGPT: Vision and challenges“, *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, Jg. 3, S. 262–271, 2023, doi: 10.1016/j.iotcps.2023.05.004.
- [21] D. Ghosh, D. Soni, S. Gopikanna, N. A Nambiar, Y. S. Apoorva und S. Kumarasamy, „Interactive Design Automation Framework Using Large Language Model and Past Data“, International Conference on Cement and Building Concrete for a sustainable and Resilient infrastructure, NIT, Warangal, India, März 2023. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.researchgate.net/publication/370427479\\_Interactive\\_Design\\_Automation\\_Framework\\_Using\\_Large\\_Language\\_Model\\_and\\_Past\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/370427479_Interactive_Design_Automation_Framework_Using_Large_Language_Model_and_Past_Data). Zugriff am: 3. September 2023.
- [22] Brady D Lund, „A Brief Review of ChatGPT: Its Value and the Underlying GPT Technology“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.researchgate.net/profile/Brady-Lund/publication/366809571\\_A\\_Brief\\_Review\\_of\\_ChatGPT\\_Its\\_Value\\_and\\_the\\_Underlying\\_GPT\\_Technology/links/64986a2b8de7ed28ba56a253/A-Brief-Review-of-ChatGPT-Its-Value-and-the-Underlying-GPT-Technology.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Brady-Lund/publication/366809571_A_Brief_Review_of_ChatGPT_Its_Value_and_the_Underlying_GPT_Technology/links/64986a2b8de7ed28ba56a253/A-Brief-Review-of-ChatGPT-Its-Value-and-the-Underlying-GPT-Technology.pdf). Zugriff am: 5. September 2023.
- [23] J. Zheng und M. Fischer, „BIM-GPT: a Prompt-Based Virtual Assistant Framework for BIM Information Retrieval“, 2023.
- [24] W. Y. Lin, „Prototyping a Chatbot for Site Managers Using Building Information Modeling (BIM) and Natural Language Understanding (NLU) Techniques“ (eng), *Sensors (Basel, Switzerland)*, Jg. 23, Nr. 6, 2023, doi: 10.3390/s23062942.
- [25] J. Ko, J. Ajibefun und W. Yan, „Experiments on Generative AI-Powered Parametric Modeling and BIM for Architectural Design“, 1. Aug. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2308.00227>.
- [26] S. Jang und G. Lee, „Interactive Design by Integrating a Large Pre-Trained Language Model and Building Information Modeling“, 25. Juni 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/2306.14165>.
- [27] M. Day, *Hypar: text-to-BIM and beyond*. [Online]. Verfügbar unter: <https://aecmag.com/ai/hypar-text-to-bim-and-beyond/> (Zugriff am: 18. August 2023).
- [28] P. Poinet, D. Stefanescu und E. Papadonikolaki, „Collaborative Workflows and Version Control Through Open-Source and Distributed Common Data Environment“ in *Lecture Notes in Civil Engineering, Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, E. Toledo Santos und S. Scheer, Hg., Cham: Springer International Publishing, 2021, S. 228–247, doi: 10.1007/978-3-030-51295-8\_18.
- [29] J. Broughton, *AI-Powered Conversations with Speckle*. [Online]. Verfügbar unter: <https://speckle.systems/blog/ai-powered-conversations-with-speckle/> (Zugriff am: 18. August 2023).
- [30] Design Tech Unraveled, *How to use Chat GPT to Delete All Walls in a Revit Model (with Python)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=vaHmuX1htbU> (Zugriff am: 18. August 2023).
- [31] Martin156131, *[IfcOpenShell-Python] How to create a cone in an ifc file? i asked chatgpt*. [Online]. Verfügbar unter: <https://community.osarch.org/discussion/1330/ifc-openshell-python-how-to-create-a-cone-in-an-ifc-file-i-asked-chatgpt> (Zugriff am: 18. August 2023).
- [32] O. Green, *Dynamo Python Primer*. [Online]. Verfügbar unter: <https://dynamopythonprimer.gitbook.io/dynamopython-primer/> (Zugriff am: 19. August 2023).
- [33] ChatGPT, *Dialog zu Strategie 1*. [Online]. Verfügbar unter: <https://chat.openai.com/share/a0f56009-941f-46bc-968a-70fccb28352>.
- [34] Autodesk Inc., *Autodesk Revit 2023 Help*. [Online]. Verfügbar unter:



<https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/ENU/>  
(Zugriff am: 19. August 2023).

- [35] IfcOpenShell, *IfcOpenShell: The open source IFC toolkit and geometry engine*. [Online]. Verfügbar unter: <https://ifcopenshell.org/index.html> (Zugriff am: 20. August 2023).
- [36] ChatGPT, *Dialog zu Strategie 2*. [Online]. Verfügbar unter: <https://chat.openai.com/share/275d8cbd-02c9-40c9-89df-540fb31b70ea> (Zugriff am: 26. August 2023).
- [37] buildingSMART International Ltd., *4.2.3 Quantity Sets*. [Online]. Verfügbar unter: [https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4\\_2/FINAL/HTML/schema/templates/quantity-sets.htm](https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/schema/templates/quantity-sets.htm) (Zugriff am: 20. August 2023).

# Ein ontologisches Modell zur Unterstützung der digitalen Prüfplanung in der Bauausführung (OCQA)

## An ontological model to support digital inspection planning in construction (OCQA)

Sebastian Seiß, Bauhaus-Universität Weimar, Professur Baubetrieb und Bauverfahren, Marienstr. 7A, 99423 Weimar, sebastian.seiss@uni-weimar.de

Jan Niklas Lünig, Technische Universität Braunschweig, Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Schleinitzstr. 23A, 38106 Braunschweig, jan-niklas.luenig@tu-braunschweig.de

### Kurzfassung

Zur Sicherstellung der vereinbarten Bauqualitäten werden Qualitätsprüfungen in der Ausführungsphase entsprechend geltenden Standards und Normen durchgeführt. Neben der Überprüfung von Objekteigenschaften, dienen Qualitätsprüfungen als Mittel zur frühzeitigen Identifizierung von Ausführungsfehlern. Konventionelle Prüfplanungen sind meist manuell, zeitaufwendig und abhängig von den individuellen Erfahrungen der Planenden. Dieser Beitrag präsentiert die Ontologie zur baubegleitenden Qualitätssicherung (OCQA) als Ansatz für eine projekt- und unternehmensspezifische Prüfplanung. Die Terminologie der OCQA ist gemäß DIN 55350 und DIN 9000 gewählt. Die OCQA integriert Vorgaben aus Normen und technische Einschränkungen in einer Ontologie und nutzt diese zur Datenintegration, zum Wissensmanagement und zur Informationsextraktion. Aus der Kombination verschiedener qualitätsrelevante Informationen wird mittels der OCQA, die erforderlichen Qualitätsprüfungen bestimmt und detailliert geplant. Anhand der Beispielinспекtion Ebenheitskontrolle für Estricharbeiten wird die Funktionsfähigkeit der Ontologie nachgewiesen.

### Abstract

Ensuring adherence to stipulated construction quality is paramount, necessitating comprehensive quality inspections during the execution phase in alignment with established standards and norms. Beyond merely examining object attributes, these inspections are crucial in offering early detection of potential execution discrepancies. Traditional inspection plans, which adhere to the DIN 55350, often suffer from being manually intensive, time-consuming, and heavily contingent on the unique experiences of the planners. This paper introduces and elucidates the Ontology for Construction Quality Assurance (OCQA). Designed as a semi-automated methodology tailored to specific company needs, OCQA seamlessly amalgamates directives from standards with technical constraints into a cohesive data model. Employing ontologies, it significantly enhances data integration, promotes efficient knowledge management, and expedites information extraction. By synthesizing a plethora of quality-centric data, OCQA identifies and orchestrates the requisite quality inspections. Its operational capability is demonstrated through a example case by using flatness inspection.

### 1 Einleitung

Nach geltendem Werkvertragsrecht sind Planende und Bauausführende verpflichtet, „*ein mangelfreies, den anerkannten Regeln der Technik und der vereinbarten Beschaffenheit entsprechendes Werk zu planen bzw. zu bauen*“ [1]. Erfahrungsgemäß handelt es sich bei der Ausführung um handwerkliche Aktivitäten, bei denen fehlerhafte Ausführung nicht ausgeschlossen werden können. Qualitätsmanagementsysteme sollen gemäß der DIN EN ISO 9000:2015 die notwendigen Prozesse und Ressourcen bestimmen, die zur Erreichung der gewünschten Ergebnisse erforderlich sind [2]. Übertragen auf die Baubranche sollen mittels Maßnahmen zur Qualitätssicherung - wie

Qualitätskontrollen oder -prüfungen - die geschuldeten Ausführungsqualitäten gewährleistet werden. Ein hoher Grad an Konformität erbrachter Bauleistungen erfordert eine sorgfältige Prüfplanung, in welcher die Anzahl, der Ort, die Prüfmethode sowie das jeweilige Prüfmittel bestimmt wird. Derzeitige Qualitätsplanungen sind von manuellen Prozessen, hohen Zeitaufwendungen sowie von der individuellen Erfahrung der Planenden geprägt [3].

In der Baubranche stellen Ontologien seit jüngster Zeit einen Lösungsansatz für die Bereiche Datenintegration, Wissensmanagement und Informationsextraktion dar [4]. Ontologien stammen aus der Philosophie und werden in der Informatik zur formalen Definition von Begriffen und deren Beziehung bezogen auf eine Anwendungsdomäne

verwendet [5]. Formal bedeutet im Kontext der Sprache eine Definition der Syntax und Semantik. Übertragen auf die digitale Planung von Qualitätsprüfungen bedarf es ein domänenspezifisches Wissensmodell, welches Vorgaben aus Normen und Richtlinien, Restriktionen der Prüftechniken sowie qualitätsbezogene Erfahrungen abbildet.

Zur Reduzierung von Planungsaufwendungen und Erhöhung von Planungsqualitäten wird nachfolgend die Ontologie zur baubegleitenden Qualitätssicherung (OCQA eng: Ontology for Construction Quality Assurance) vorgestellt. Die OCQA dient 1) der Bereitstellung des heterogener Informationsbedarfs der Prüfplanung, 2) der Beschreibung von Prüfplänen und 3) der Bereitstellung von Wissen zur Planung von Prüfungen. Durch die Anwendung der OCQA, werden Wissenssilos aufgebrochen und Informationen im Bezug zur Bauausführung und Prüfplanung projektbezogen sowie firmenübergreifend bereitgestellt.

## 2. Grundlagen der Qualitätssicherung

Für die Konzeptionierung eines Wissensmodells zur Planung von Qualitätskontrollen werden nachfolgend die Grundlagen der Bauqualitätssicherung basierend auf den Qualitätsnormen DIN 9000:2015 und DIN 55350:2021 vorgestellt.

### 2.1 Bauqualität - Definition und Abgrenzung

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Qualitätsbegriff trotz des wertneutralen lateinischen Ursprungs „*qualis*“ - d.h. „*wie beschaffen*“ [6] - im Alltag wertend verwendet. Qualität wird häufig als Synonym für die Güte eines Produktes oder einer Dienstleistung verstanden. In Abhängigkeit des subjektiven Qualitätsverständnisses kann ein Ergebnis guter als auch schlechter Qualität sein [3]. Um sich von einem subjektiven Qualitätsverständnis zu lösen, wird die Begrifflichkeit gemäß der DIN EN ISO 9000:2015 als „*Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt*“ verstanden [2]. Qualität ist entsprechend der Definition keine absolute messbare physikalische Größe. Messbar ist gemäß Brüggemann, Bremer (2019) der Grad der Übereinstimmung eines Produktes (Konformität) mit den bestehenden Anforderungen [6].

Bauqualität kann zwischen Objektqualität als Produktqualität sowie Projektqualität als Verfahrensqualität differenziert werden. Die Qualitäten des fertigen Gebäudes in Form von technischen Anforderungen, Kostengünstigkeit, umweltbewusstes Bauen und Nutzungsverträglichkeit gehören der Objektqualität an. Die erreichte Endqualität des Gebäudes ist wiederum maßgeblich von der Verfahrensqualität abhängig. Ein hoher Grad an Konformität des Bauresultats kann nur mittels einer hohen Verfahrensqualität in Form von Qualität der Planung, Ausführungsqualität und Nutzungsqualität erreicht werden [3].

### 2.2 Mindestmaß an Bauqualität

Die Qualität am Bau ist von den Interessenslagen, Kenntnisständen als auch den geltenden Regeln abhängig [3].

Gemäß §1 Abs.2 VOB/B ergeben sich die Regeln für ein Bauvorhaben aus den Informationsquellen Leistungsbeschreibung, besondere Vertragsbedingungen, zusätzliche Vertragsbedingungen, zusätzliche technische Vertragsbedingungen, allgemeine technische Vertragsbedingungen und den allgemeinen Vertragsbedingungen. Bei Qualitätswidersprüchen zwischen den Informationsquellen gilt die in §1 Abs.2 VOB/B beschriebene Rangordnung [7]. Aufgrund projektspezifischer Leistungsbeschreibungen sowie wechselnder Vertragsbestandteile variieren die Qualitätsvereinbarungen in jedem Bauvorhaben. Die für das Bauprojekt geltenden Qualitätsanforderungen werden im Rahmen der Qualitätsplanung als Qualitätsziele definiert. Neben der Zielfestlegung werden innerhalb der Qualitätsplanung die notwendigen Ausführungsprozesse identifiziert und die dazugehörigen Ressourcen bestimmt [2].

Auftraggeber haben bei Abschluss eines BGB-Werkvertrages gemäß den Urteilen vom Oberlandesgericht (OLG) Frankfurt am Main (10.01.2002 – 16 U 106/01.) und OLG Schleswig-Holstein (12.08.2004 – 7 U 23/99) einen Anspruch auf Einhaltung der DIN-Vorschriften und anerkannten Regeln der Technik (a.R.d.T.). Da die Leistungen stillschweigend vorausgesetzt werden, gelten die Vorschriften als Mindestmaß an Qualität, die der Auftraggeber erwarten kann. Die allgemein anerkannten Regeln der Technik sind für Architekten, Bauingenieure, Sachverständige, Bauunternehmen und Handwerksbetriebe ein allgemeiner Konsens zur Einhaltung eines (Mindest-)Standards bei Planung und Ausführung [1]. Eine Regel gilt gemäß Hankammer (2007) als anerkannt, wenn sie existiert, wissenschaftlich theoretisch richtig ist und sie in der Praxis zugleich bewährt ist [8].

### 2.3 Prüfplanung

Prüfungen dienen gemäß der DIN EN ISO 9000:2015 zur Bestimmung der Konformität. In Abhängigkeit des Ergebnisses können Prüfungen sowohl zu Zwecken der Verifizierung als auch zum Nachweis der Nichtkonformität dienen [2]. Qualitätsprüfungen - gleichzusetzen mit Qualitätskontrollen - erweitern gemäß der DIN 55350:2021 den Prüfbegriff um zu erfüllende Erfordernisse und Erwartungen [9]. Entsprechend der Definition können mittels Qualitätskontrollen die Erfüllung der zugesicherten Eigenschaften und Qualitäten nachgewiesen werden. Ein unabhängiger Qualitätsprüfer soll über die gesamte Planungs- und Bauphase stichprobenartige die Konformität der Bauqualität mittels Plan- und Nachweisprüfungen sowie Sichtprüfungen sicherstellen. Erkannte Nichtkonformitäten in Form von Mängeln und Fehlern müssen dokumentiert und angezeigt werden [1].

Die erforderlichen Prüfungen sowie die Spezifikation einer oder mehrerer Prüfungen werden gemäß DIN 55350:2021 im Prüfplan definiert. Der Prüfplan enthält gemäß DIN Norm „*im Allgemeinen Angaben zum Prüfobjekt und die Festlegung der Prüftechnik, der Prüftätigkeiten und Prüfprozesse und der Abfolge von Prüfungen oder verweist auf*

entsprechende Prüfspezifikationen, Prüfanweisungen und Prüfablaufpläne“ [9]. Ziel des Prüfplans ist die Einhaltung der definierten Objekt- und Verfahrensqualitäten unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Aspekten [10]. Zur Erstellung einer Prüfplanung bedarf es einer im Voraus abgeschlossenen Qualitätsplanung, in welcher die einzuhaltenden Qualitätsmerkmale definiert sind. Auf Basis der abgeschlossenen Qualitätsplanung und unter Berücksichtigung des Bauablaufplans erfolgt gemäß Linß (2018) die Prüfplanerstellung nach den folgenden vier Schritten [11]:

1. Prüfobjekt, Prüfmerkmal – was zu prüfen ist
2. Prüfzeitpunkt, Prüfhäufigkeit und Prüfungsumfang – wann, wie oft, wie viel
3. Prüfmethode und Prüfmittelauswahl – wo, womit, wie zu prüfen ist und wer prüft
4. Auswertung, Erfassung und Verwaltung der Prüfdaten – wie auszuwerten und zu dokumentieren ist

Der Prüfverantwortliche erhält mit dem Prüfplan eine detaillierte Beschreibung der erforderlichen Qualitätsprüfungsmaßnahmen, die zum Erreichen der Qualitätsziele notwendig sind. In Abhängigkeit der Komplexität bedarf es weitere Beschreibungen in Form von Prüfanweisungen und Prüfablaufplänen [9].

### 3 Existierende Ontologie Ansätze

Ontologien besitzen die Möglichkeiten Wissen aus unterschiedlichen Bereichen in domänenspezifische Ontologien zu formalisieren, zu verbinden und wiederzuverwenden [12]. Ontologien stellen somit ein effizientes Mittel dar, um heterogenes Wissen zu verknüpfen und abzubilden. Zur Beschreibung von Bauprozessen, -aktivitäten sowie deren Abhängigkeiten sind in der Baubranche eine Vielzahl an Ontologien entstanden. Nachfolgend werden generische Ontologien zur Beschreibung der wesentlichen Entitäten sowie Ontologien im Zusammenhang mit Qualitätsprüfungen vorgestellt.

#### 3.1 Generische Ontologien im Bauwesen

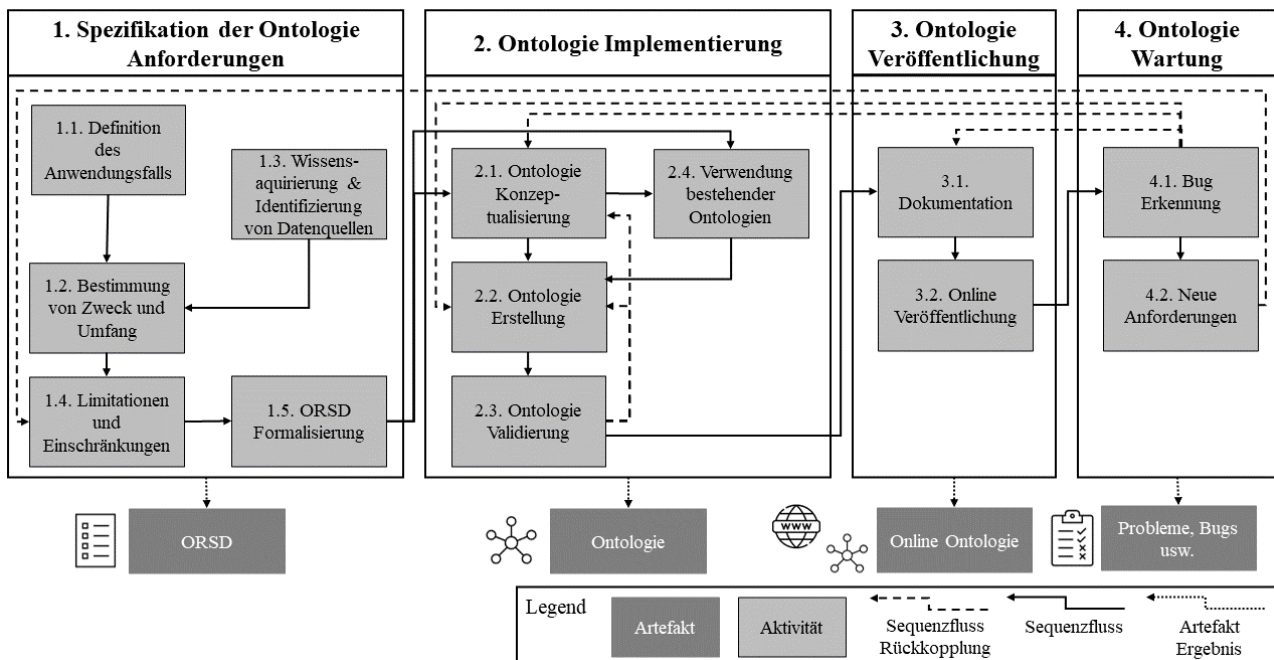
Lima et al. (2003) entwickelte die e-COGNOS Ontologie, welche eine konsistente Wissensrepräsentation bietet und organisatorische Fragen des Zugangs und der Verwendung von Wissen regelt [13]. Als Weiterentwicklung der e-COGNOS stellte El-Diraby und Osman (2011) die Domänenontologie für Bauwissen DOCK 1.0 vor, welche ein Gerüst zur Beschreibung der Schlüsselkonzepte für Bauwissen bietet [14]. El-Gohary et al. (2010) formalisierten prozessorientiertes Infrastruktur- und Bauwissen in der Domänen-Ontologie IC-PRO-Onto [15]. Im Anschluss an diese Arbeiten definierten Zheng et al. (2021) mit der Digital Construction Ontology (DiCon) umfassendere Entitäten und Eigenschaften im Zusammenhang mit Bauabläufen. Die DiCon besitzt die Fähigkeit digitale Bauinformationen aus heterogenen Systemen darzustellen und zu integrieren [16].

Für die ontologische Repräsentation des EXPRESS-Schemata der Industry Foundation Classes (IFC) wurde die Industry Foundation Classes Ontology Web Language (IFCOWL) entwickelt. In der Ontologie wird das IFC-Datenmodell in die Web Ontology Language (OWL) konvertiert, um eine maschinenlesbare Darstellung von Gebäudemodelldaten zu ermöglichen. Die Umwandlung von IFC in OWL sichert die Interoperabilität von BIM-Modellen zwischen unterschiedlichen Softwareanwendungen. Dies wird durch die Integration der semantischen Strukturen des BIM-Modells in die Websemantik erreicht, was eine effizientere Kommunikation und Datenverwaltung ermöglicht [17]. Der aus dem IFC-Standard resultierende generische ontologische Aufbau führt zu komplexen Strukturen und einer daraus resultierenden geringen Performance. Rasmussen et al. (2021) entwickelten im Rahmen des EU-Projekts DURAARK (Durable Architectural Knowledge) die Building Topology Ontology (BOT), welche einen leichtgewichtigeren Ansatz zur Minimierung der IFCOWL-Komplexität darstellt. Die BOT umfasst wesentliche topologischen Konzepte zur Beschreibung von Gebäuden [18].

#### 3.2 Ontologien in der Bauqualitätssicherung

Angesichts des generischen Aufbaus ist eine digitale Planung von Qualitätsprüfungen mit den vorgestellten Ontologien nicht realisierbar. Im Kontext des Bauwesens wurde eine Vielzahl an Ontologien für den Bereich der Qualitätssicherung entwickelt, die im Folgenden detailliert erläutert werden.

Im Zusammenhang des Baugenehmigungsprozesses entwickelte Yurchyshyna et al. (2008) die C3R-Ontologie, welche darauf abzielt, die Konformität des geplanten Gebäudes mit regionalen Bauvorschriften zu validieren. Mittels SPARQL-Konformitätsabfragen werden technische Normen mit den einzuhaltenden Bauvorschriften abgeglichen [19]. SPARQL Abfragen ermöglichen das standardisierte Lesen, Aktualisieren und Löschen von Ontologie Graphen [20]. Zhong et al. (2012a) und Hu (2013) entwickelten die CQIEOntology, welche aus geltenden Vorschriften Prüfungen ableitet und mit den spezifischen Bauaufgaben verknüpft. Mit Hilfe von OWL-Axiomen und SWRL-Regeln, werden die durchzuführenden Qualitätsprüfungen aus verschiedenen Vertragsdokumenten abgeleitet. Der Bauleiter erhält durch die CQIEOntology in der Ausführungsphase eine Erinnerung der durchzuführenden Qualitätsprüfungen [21]. Martinez et al. (2019) verwendeten SPARQL-Abfragen, um Qualitätsvorschriften aus Baustoffdatenblättern abzuleiten [22]. Xu et al. (2019) entwickelten ein ontologiebasiertes Wissensmanagementsystem für digitale Autobahnbauprüfungen [23]. In Bezug auf das Thema Bauschäden wurde die Damage Topology Ontology (DOT) von Hamdan et al. (2019) entwickelt. Bei der DOT handelt es sich um eine generische Ontologie zur Definition und Darstellung von Schäden in verschiedenen Bauteilen [24].



Die Analyse der vorgestellten Ontologien offenbarte erhebliche Mängel in den Bereichen Konsistenz, Zugänglichkeit und Funktionalität. Keine der untersuchten Ontologien wurde veröffentlicht oder ist über eine bereitgestellte URI zugänglich. Existierende Standards des Web Consortium (W3C) oder das FAIR-Prinzip zur Entwicklung von Ontologien blieben teils unberücksichtigt. Zentrale Termini des Bauqualitätswesens, insbesondere aus der DIN ISO 9000:2015 und DIN ISO 55350:2021, wurden in den Ontologien nicht aufgeführt. Zusammenfassend sind die vorgestellten Ontologien ungeeignet für die Planung und Beschreibung von Qualitätsprüfungen. Es bedarf einer spezialisierten Ontologie für die Bauqualitätsplanung, welche die Prüfmethode wählt und anschließend die Prüfung detailliert plant.

## 4 Ontologie zur baubegleitenden Qualitätssicherung

### 4.1 Methode zur Entwicklung der OCQA

Das Ontologie Engineering ist ein Teilbereich des Knowledge Engineering, welches sich mit der Entwicklung, Modifikation, Applikation und Evaluation von Ontologien beschäftigt [25]. Mit dem IDEF5-, Enterprise-Model-, TOVE-, On-To-Knowledge- als auch kollaborative Ansatz, existieren verschiedene wissenschaftlich anerkannte oder in der Praxis bewährte Ontologie Entwicklungsmethoden. Die gebräuchlichste Methodik wurden von Grüninger und Fox (1994) sowie Uschold und Grüninger (1996), in der „ontology development guideline 101“ und der „On-To-Knowledge methodology“ vorgestellt [26] [27] [16]. In der Methode wird ein Hybridmodell verwendet, welches die Linked Open Terms (LOT)-Methode mit der Methodik von Uschold und Grüninger sowie der von Grüninger und Fox

zusammenführt. Das hybride Modell bildet die Vorteile beider Methoden ab. Gemäß der LOT-Methode wird das Ontologie-Engineering in die nachfolgenden Arbeitsschritte untergliedert:

1. Spezifikation,
2. Implementierung
3. Veröffentlichung
4. Wartungsphase

Der detaillierte Prozess der Ontologie Entwicklung und -technik ist in Abbildung 1 dargestellt. In der Phase der Spezifikation werden Umfang, Zweck, Anwendungsfälle, Nutzer und Anforderungen an die Ontologie definiert. Der Wissenserwerb ist ein fortlaufender, iterativer Prozess während der gesamten Ontologie Spezifikation [28]. Das Ergebnis der Spezifikationsphase ist das Ontology Requirements Specification Document (ORSD), welches Ziele, verfügbare Informationsquellen sowie potenzielle Mehrwerte der Ontologie beschreibt [29].

Im Anschluss der Spezifikation erfolgt gemäß Abbildung 1 die Implementierung der Ontologie. Die Implementierung umfasst die Konzeptualisierung, die Recherche bestehender Ontologie Ansätze sowie die Entwicklung der eigentlichen Ontologie. Die Validierung der entwickelten Ontologie schließt die Implementierung ab. Im Zuge der Validierung wird die formale Korrektheit und die Funktionalität hinsichtlich eines Bezugsrahmens bewertet [30]. Die im Bezugsrahmen definierten Kriterien beinhalten gemäß Xing et al. (2019) Aspekte „wie Klarheit, Konsistenz, Erweiterbarkeit, minimale ontologische Verpflichtungen, Prägnanz, Vollständigkeit, Abdeckung und Korrektheit“ [31]. Bei der Ontologie Implementierung handelt es sich gemäß Abbildung 1 um einen iterativen Prozess, in welchem identifizierte Unklarheiten oder Unvollständigkeiten, wiederum zu einer Anpassung des Ontologie Konzeptes führen.

Abbildung 1 Ontologie Entwicklungsmethodik (Poveda-Villalón et al., 2022)

Nach Fertigstellung der Ontologie erfolgt die Veröffentlichung im Hypertext Markup Language (HTML)-Format auf GitHub. GitHub ermöglicht einem breiten Spektrum von Nutzern und Entwicklern Zugang zur Ontologie zu gewährleisten. Der GitHub Repository ermöglicht eine ordnungsgemäße Ontologie Pflege durch Zusammenarbeit und Versionskontrolle [32].

## 4.2 Spezifikation

In der Phase der Spezifikation werden mittels Kompetenzfragen der Umfang, Zweck sowie potenzielle Anwendungsfälle der Ontologie erarbeitet. Kompetenzfragen beschreiben zu lösende Probleme, aus welchen sich potenzielle Anwendungsgebiete der Ontologie ergeben [33]. Neben der Anforderungsbeschreibung werden Kompetenzfragen KFs zur Validierung der Ontologie herangezogen. Das Resultat der Spezifikationsphase ist das Spezifikationsdokument, welches auf GitHub bereitgestellt wird [34]. Nachfolgend werden die Teilprozesse der OCQA-Spezifikation vorgestellt.

**Zweck:** Die Ontologie verfolgt das Ziel einer digitalen und projekt- und firmenbezogenen Planung von Qualitätsprüfungen, zur langfristigen Reduzierung von Planungsaufwendungen und -fehlern. Auf Grundlage von Modelldaten, digitalen Normen und Vertragsdaten wird die Ausführung der Qualitätsprüfungen und die zu verwendenden Prüfmittel geplant. Die Anwendung der Ontologie in dieser Arbeit beschränken sich auf:

1. Die Beschreibung von Prüfplänen und relevanten Informationen
2. Bereitstellung von Wissen zur Unterstützung der Inspektionsplanung

**Anwender:** Die Anwender der Ontologie werden entsprechend den Anwendungsfällen der Ontologie definiert. Als Zielgruppe wurden Beteiligte des Baumanagements und insbesondere Bauleiter und Qualitätsgutachter identifiziert. Ausführende Akteure welche kein Bestandteil des Managements von Baustellen sind, sind keine Zielgruppe der OCQA.

**Nicht-funktionale Anforderungen:** Non-functional requirements (NFRs) beschreiben, wie ein System funktionieren, sich verhalten und agieren soll. In verschiedenen Studien wurden NFRs für Ontologien im Bereich des Bauwesens definiert, die sich wie folgt zusammenfassen lassen: (1) Abdeckung/Ausreichendheit, (2) Konsistenz, (3) Benutzbarkeit, (4) Erweiterbarkeit/Wiederverwendbarkeit und (5) Klarheit und Prägnanz [35] [36] [15] [16]. Basierend auf den angeführten NFRs wird in Kapitel 4.4 die Validierung OCQA validiert.

**Funktionale Anforderungen:** Die funktionalen Anforderungen werden als KFs gemäß den zuvor definierten Anwendungsfällen beschrieben. Tabelle 1 listet die KFs auf, die von der vorgeschlagenen Ontologie beantwortet werden sollen

**Tabelle 1** Kompetenzfragen zur Ermittlung der Anwendungsfälle

Beschreibung und Bereitstellung von Wissen zur Planung einer Prüfung
1. Welches Merkmal wird geprüft?
2. Wonach ist die Inspektion erforderlich?
3. Wo wird die Inspektion beschrieben?
4. Welche Prüfmethode kommt zu Anwendung?
5. Wann erfolgt die Prüfung in der Bauausführung?
6. Welches Prüfausrüstung ist erforderlich?
7. Wo soll die Prüfung durchgeführt werden?
8. Wer führt die Prüfung aus?

## 4.3 Implementierung

Gemäß den Spezifikationen strebt die OCQA an, eine Wissensbasis für die Planung und Darstellung von Prüfplänen bereitzustellen. Die OCQA bildet folglich eine Domänenontologie für den Bereich der Prüfplanung. Zur Sicherstellung der OCQA Funktionsweise ist es erforderlich, die unterschiedlichen Wissensbereiche der Prüfplanung abzubilden. Dabei gilt es zu beachten, dass Prüfpläne auf einen breiten Informationsbedarf aus Planung und Arbeitsvorbereitung angewiesen sind. Folglich müssen alle Informationen die mit dem zu prüfenden Bauteil in Verbindung stehen berücksichtigt werden [11]. Die Informationsbasis für die OCQA bilden vertragliche-, Fertigungs-, technische-, qualitätsbezogene Unterlagen sowie Dokumente von beteiligten Organisationen.

Eine richtige Terminologie ist wichtig, um sicherzustellen, dass die gewählten Begriffe eindeutig und für künftige Nutzer verständlich sind [37]. Zur Gewährleistung einer angemessenen Terminologie, wurde ein hybrider Ansatz gewählt. Einerseits wurde die Terminologie auf der Grundlage bestehender Ontologien erstellt, um deren bewerte Terminologie und Semantic weiter zu verwenden. Zum anderen wurden relevante Normen wie DIN 55350:2021 und DIN EN ISO 9000:2015 berücksichtigt.

In der beabsichtigten Ontologie wird dies über den Ansatz der Modularisierung realisiert. Hierbei greift das Dekompositionsprinzip, nach diesem kann ein komplexes System mithilfe von Subsystemen abgebildet werden [38]. Die Aufteilung in Module erfolgt entsprechend der Interpendenzen der in den Modulen enthaltenen Entitäten. Dabei ist zu beachten, dass in Anlehnung an das Integritätsprinzips einzelne Module im Sinne der Prüfplanung nicht funktionsfähig sind [39].

Die Dekompensierung in Module ermöglicht eine flexible Erweiterung der Ontologie an neue Wissensdomänen oder die Anpassung an anwendungsfallbezogenes Domänenwissen [40]. Dies bedeutet, dass der für die Prüfplanung unerlässliche Informationsbedarf flexibel abgedeckt werden kann. Im weiteren Sinne ermöglicht dies auch, dass die

Beschreibung der Prüfplanung entsprechend den Anforderungen des Nutzers individuell anpassbar ist.

Darüber hinaus lassen sich die einheitlich formulierten Module einfacher wiederverwenden. Viel schwerer wirkt jedoch, dass eine verbesserte Verständlichkeit und Komplexitätsreduktion erreicht wird, indem die Module isoliert betrachtet werden können [39].

*dicp:Activity* dar. Aus diesem Grund kann eine Prüfung entsprechend einer Aktivität ein Start- und Enddatum sowie eine Dauer zugeordnet werden. Ebenso können zu prüfende Entitäten, wie bspw. *dice:Location*, *dice:BuildingObject* oder *dicp:Activity* zugeordnet werden. Das Ziel einer Prüfung stellt das zu prüfende Merkmal dar. Aus diesem Grund ist die Inspektion nicht nur eine Entität bezogen, sondern auch das Prüfmerkmal dieser Entität. Die Abbil-

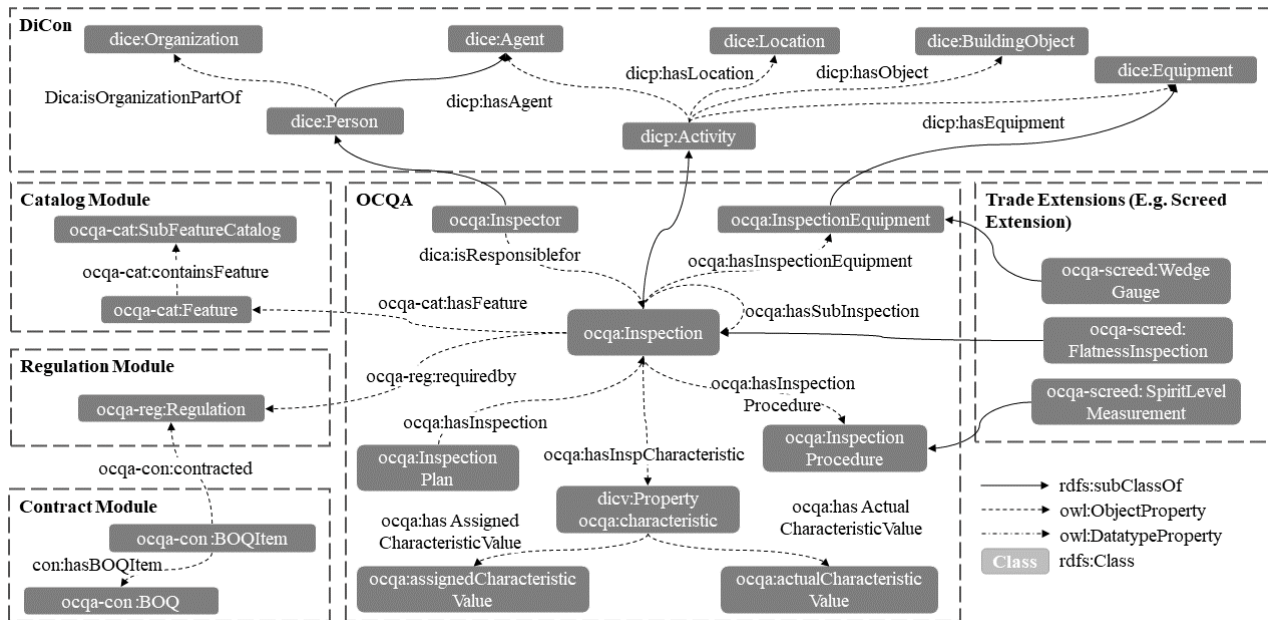


Abbildung 2 Übersicht über Klassen, Beziehungen und Daten-Eigenschaften der OCQA

Entsprechend der Abbildung 2 besitzt die OCQA vier mit ihr interagierende Module. Die OCQA beschreibt die direkt mit der Prüfplanung in Verbindung stehenden Entitäten. Das Catalog Module beschreibt Stammdaten, wie bspw. Fehlerwahrscheinlichkeiten, Zeit- oder Kostenansätze. Das Regulation Module beschreibt Regularien die Prüfungen fordern, genau wie das Contract Module, welches direkt Prüfungen vereinbart oder auf Normen verweist, die selbst Prüfungen fordern. Neben diesen Modulen gibt es das Modul Trade Extension, welches der gewerkespezifischen Erweiterung der OCQA dient. Folglich können für die einzelnen Gewerke spezifizierte Subklassen bereitgestellt werden.

Um Entitäten aus der Bauausführung und Planung bereitstellen zu können, wurde die OCQA mit der DiCon-Ontologie erweitert. Die DiCon-Ontologie verfügt über grundlegende Konzepte zur Beschreibung von Bauteilen, Bautätigkeiten, Materialien, Personal und mehr. Des Weiteren verknüpft DiCon wiederum andere Ontologien, welche domänenspezifisches Wissen zur Beschreibung von Bauwerken, Organisationen und Personen.

Die Abbildung 2 veranschaulicht vereinfacht die Struktur der OCQA mit der Klasse *ocqa:Inspection* im Zentrum. Die Prüfung steht mit zugehörigen Prüfmerkmalen, wie *ocqa:InspectionEquipment*, *ocqa:Inspector*, *ocqa:InspectionPlan* und *ocqa:InspectionProcedure* in Beziehung. Eine Inspektion stellt in der OCQA eine Subklasse von

der Prüfung dar. Die Inspektion wird über *ocqa:Characteristic*, welche über *ocqa:hasInspCharacteristic* mit der Prüfung und der zu Prüfenden Entität verbunden ist. Der zu erfüllende Wert des Merkmals wird über *ocqa:AssignedCharacteristicValue* beschrieben und der aufgenommene Wert über *ocqa:ActualCharacteristicValue* hinterlegt. Beide Werte können daraufhin über eine Abfrage verglichen und Fehler durch die Ontologie automatisiert abgeleitet werden. Als Beispielhafte gewerkespezifische Erweiterung wurde das Gewerk Estricharbeiten gewählt. Entsprechend wird die Klasse *ocqa:Inspection* beispielhaft durch die Subklasse *ocqa-screed:FlatnessInspection* erweitert.

Das vorgestellte Konzept wurde über Protégé in OWL implementiert und unter <https://w3id.org/ocqa.ttl> veröffentlicht. Eine detaillierte Dokumentation der Ontologie kann unter <https://w3id.org/ocqa> eingesehen werden.

#### 4.4 Evaluierung

Validierungen dienen im Kontext der Ontologie-Erstellung zur Überprüfung der Erfüllung von Benutzeranforderungen sowie zur Bewertung der Wirksamkeit und Vollständigkeit. Dieser Abschnitt zeigt die Evaluierung der OCQA und stellt die angewandten Methoden und Ergebnisse vor, um sicherzustellen, dass sowohl die funktionalen Anforderungen als auch die nicht funktionalen Anforderungen erfüllt werden [15]. El-Gohary et al. (2010) klassifizieren die Evaluierung die technische Entwicklerevaluierung und die Nutzerevaluierung. Dieser Beitrag beide

Evaluierungsvarianten. Für die Entwicklerevaluierung werden Konsistenzprüfungen, kriterienbasierte- und aufgabenbasierte Evaluierung abgedeckt. Zusätzlich werden für die Nutzerevaluierung Expertenworkshops präsentiert. Tabelle 2 veranschaulicht die verschiedenen Evaluierungsmethoden, die für die definierten Anforderungen verwendet werden. Die Evaluierung, Dokumentation und Veröffentlichung der OCQA gewährleisten einen hohen Grad an Transparenz.

**Konsistenzprüfung:** Die Konsistenz der OCQA-Ontologie wurde mit dem Pellet-Reasoner überprüft, einem OWL-DL-Reasoner für Inferenz und Konsistenzprüfung. Die Analyse bestätigte, dass die OCQA keine Konsistenzfehler aufweist. Zusätzlich wurde die Ontologie frühzeitig mit dem Ontology Pitfall Scanner (OOPS) auf Fehler geprüft. Dabei handelt es sich um ein nützliches Werkzeug, um Fehler in der Ontologie frühzeitig festzustellen [34].

**Tabelle 2** Validierungskriterien und -Werkzeuge nach El-Gohary (2010) und Zheng (2021)

Evaluations-Verfahren \ Evaluations Kriterium	Konsistenzprüfung	Kriterienbasierte Evaluation	Fokusgruppeninterviews	Fallbasierte Evaluation mit KFs
Verständlichkeit		X	X	
Konsistenz	X			
Erweiterbarkeit		X		
Nutzerfreundlichkeit			X	X
Abdeckung			X	X

**Kriterienbasierte Evaluation:** In dieser Evaluationsmethode werden die Kriterien der Verständlichkeit und Erweiterbarkeit geprüft werden. Um die Verständlichkeit der Ontologie zu garantieren, greift die OCQA auf evaluierte Modelle sowie Expertenwissen zurück, was zu formal richtigen und präzise definierten Konzepten führt [15].

Die Erweiterbarkeit einer Ontologie bezieht sich auf die Möglichkeit, zusätzliche Informationen einzubinden, ohne bestehende Konzepte der OCQA zu ändern [30]. Aus diesem Grund wurde die OCQA als Ontologie entwickelt, da Ontologien bestehendes Wissen wiederverwenden und erweitern können, ohne die bestehenden Begriffsdefinitionen des Kernkonzepts zu ändern [15].

**Fokusgruppeninterviews:** Zwei Online-Fokusgruppeninterviews wurden am 18.11.2022 und 24.11.2022 durchgeführt, um die Verständlichkeit, Nutzerfreundlichkeit und Abdeckung der OCQA zu bewerten. Die Interviews umfassten Experten aus Bauunternehmen sowie Sachverständigen und dauerten jeweils 3-4 Stunden. Ein semi-strukturierter Ansatz wurde verwendet, um die Diskussion zu erleichtern und qualitative Daten zu sammeln. Zu den wichtigsten Erkenntnissen gehörten die starke Unterstützung für die Nützlichkeit von OCQA bei der Verbesserung

der Transparenz und Zusammenarbeit, die Validierung zur Verständlichkeit der Terminologie und das Sicherstellung, dass die OCQA die wesentlichen Konzepte für die Qualitätskontrolle und Prüfplanung abdeckt.

**Fallbasierte Evaluierung:** Bei der Evaluierung einer Ontologie ist es von Vorteil Kompetenzfragen in Verbindung mit Aufgaben zu verwenden. Kompetenzfragen dienen der Bewertung des Abdeckungsgrads der Ontologie, während Aufgaben darauf abzielen, die Verwendbarkeit der Ontologie in bestimmten Anwendungsfällen auf der Grundlage des vorgesehenen Zwecks zu bewerten. Die Kombination beider Ansätze ermöglicht eine umfassendere Bewertung der Stärken und Schwächen der OCQA und kann zu einer effektiveren und robusteren Ontologie führen. Darüber hinaus ermöglicht die Verwendung von Kompetenzfragen und Aufgaben die Evaluierung, ob die Ontologie den Anforderungen der vorgesehenen Nutzer entspricht. Als Kompetenzfragen werden die in Abschnitt 4.2 dargestellten Fragen verwendet und auf aufgabenspezifischen Instanzdaten angewendet. Als Fallbeispiel wird der Prüfplan von Derichs und Konertz verwendet zur Prüfung der Ebenheit von Estrichen.

In einem ersten Schritt wurden die in Tabellenform vorhandenen Daten aus Terminplan, Prüfplan, Leistungsverzeichnis und Prüfanweisungen, anhand eines erstellten Python Skript in die OCQA übertragen. Das bereitgestellte BIM-Modell in Form einer IFC wurde über den IFC2LBD-Konverter direkt in RDF überführt [41]. Die instanziierte Ontologie wurde anschließend zusammen mit der OCQA in Stardog gespeichert [42]. Daraufhin können die in Code 1 dargestellten Abfragen für den Fall einer Ebenheitsprüfung von Estrich an die Ontologie gestellt werden. Die Kompetenzfragen aus Tabelle 1 werden nachfolgend am Beispiel der Prüfung 42015 beantwortet. Die Abfragen sind entsprechend der Logik des in Abbildung 3 dargestellten Beispiels verfasst. Demzufolge bezieht sich das Beispiel nur auf die Instanzen der Abfrage und spiegelt auch das Abfrageresultat wider.

Zu Beginn erfolgt die Abfrage nach der UUID des Bauteils, der relevanten Norm sowie des zu prüfenden Merkmals der Prüfung 42015. Anschließend wird der Takt, Aktivität sowie Start- und Enddatum der Prüfung abgefragt. Zuletzt werden die Prüfmethode und das notwendige Equipment zur Durchführung der Prüfung abgefragt.

**Code 1** SPARQL-Abfrage zur Informationsabfrage der Prüfung 42015.



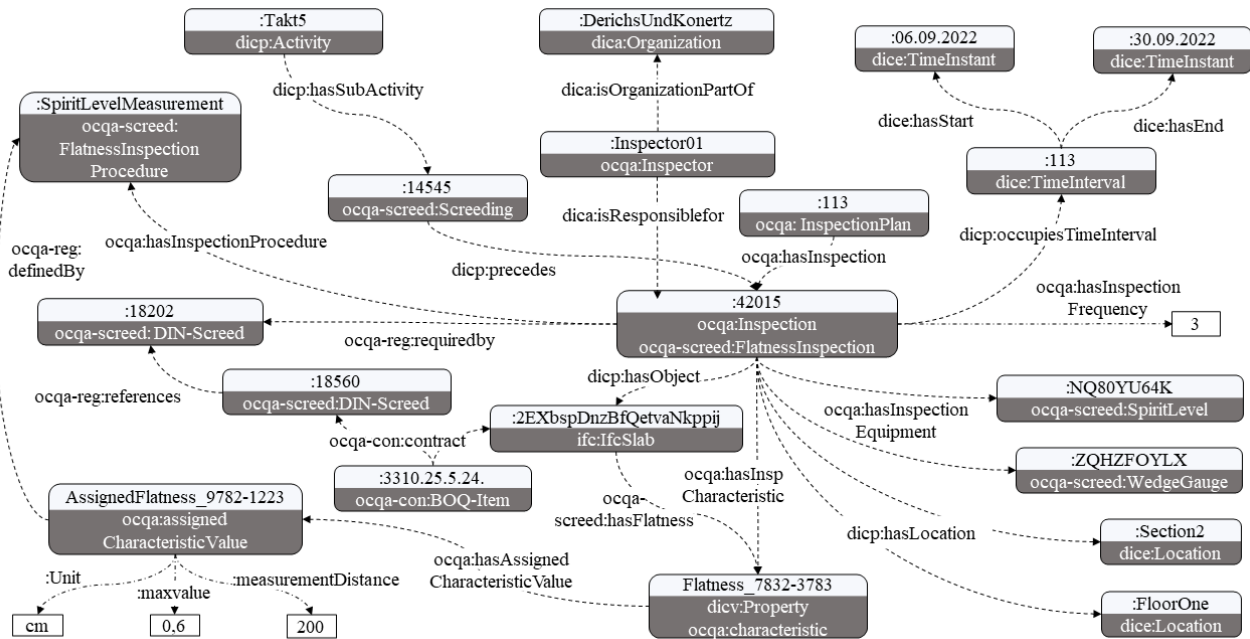


Abbildung 3 Validierung am Beispiel Ebenheitsprüfung von Estrich

```

1. [Prefixes]
2. SELECT [Select all statements of where-clause]
3. WHERE {
4. ?inspection dicip:hasObject ?UUID.#STEP 1
5. ?inspection ocqa-
screed:hasFlatness/ocqa:hasAssignedCharacteristicValue/
so:maxValue ?FlatnessDeviation:#KF 1
6. ocqa-
screed:hasFlatness/ocqa:hasAssignedCharacteristicValue/
ocqa-screed:measurementDistance
?MeasurementDistance. #KF 1
7. ?inspection ocqa-reg:requiredby
?NormForTolerances.#KF 2
8. ?NormForTolerances ^ocqa-reg:references
?NormForScreed.#KF 2
9. ?NormForScreed ^ocqa-con:contract ?BOQItem.#KF 3
10. ?inspection dice:precedes ?activity.#KF 4
11. ?activity dicip:hasSubActivity ?takt.#KF 4
12. ?inspection dicip:occupiesTimeInterval/dice:hasStart
?InspectionStart.#STEP 2. #KF 5
13. ?inspection dicip:occupiesTimeInterval/dice:hasEnd
?InspectionEnd.#STEP 2. #KF 5
14. ?inspection ocqa:hasInspectionEquipment
?InspectionEquipment.#STEP 3. #KF 6
15. ?inspection dicip:hasLocation ?InspectionLocation.#STEP
3. #KF 7
16. ?inspector dica:isResponsiblefor ?inspection.#STEP 3
.#KF 8
17. FILTER (?inspection = :42015)}
18. GROUP BY [all statement of select-clause]
    
```

### 5 Zusammenfassung

Aufgrund stetig hoher Fehlerraten und Kosten lässt sich sagen, dass neue Ansätze zur Verbesserung Qualität auf

Baustellen notwendig sind. Die Prüfplanung stellt ein wichtiges Glied zur Sicherstellung von Bauteil- und Prozessqualitäten dar. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt beschäftigen

sich nur wenige Forschungsarbeiten mit der Digitalisierung der Prüfplanung und deren Prozesse. Insbesondere mangelt es an wissensbasierten Modellen das Wissen und Informationen der Prüfplanung beschreiben. Gerade der Einsatz eines wissensbasierten Expertensystem in Form von Ontologien können hierbei ein Schlüssel sein, um durch eine digitale und vollständige Prüfplanung die Qualität auf Baustellen nachhaltig zu verbessern.

Aus diesem Grund wurde in diesem Beitrag die OCQA-Ontologie vorgestellt. Die OCQA dient zur projektspezifischen Beschreibung und Planung von Prüfplänen. Dabei verlässt das angestrebte System starre Checklisten und wendet sich individualisierten auf die projektspezifischen Anforderungen und Bauaufgabe angepassten Prüfungen zu. Des Weiteren ermöglicht die OCQA heterogene Daten aus den Datensilos der Bauplanung sowie -ausführung zusammenzuführen und der Prüfplanung zur Verfügung zu stellen. Durch die Bereitstellung von Informationen in einem offenen und neutralen Datenformat, erlaubt die OCQA die Planung von Prüfungen zwischen verschiedenen Projektbeteiligten. Sie dient somit als gemeinsame Datenumgebung, die die Interoperabilität von Information für die Prüfplanung sicherstellt. Gleichzeitig kann die OCQA auch firmenspezifisch eingesetzt werden, um dort auf Basis firmeninterne Aufwandswerte oder Personalien Prüfungen projektspezifisch zu Planen und dem Gesamtprojekt zur Verfügung zu stellen.

Die OCQA wurde unter Verwendung der LOT-Methode entwickelt. Entsprechend dieser, wurden die Anforderungen an die OCQA spezifiziert. Daraufhin wurde auf Basis

von explizitem und implizitem Wissen die OCQA-Konzeptioniert und über Protégé entwickelt. Abschließend erfolgte die Evaluierung der OCQA anhand von fünf Bewertungsmethoden. Die Evaluierung bestätigte die Funktionsfähigkeit für die in diesem Paper aufgeführten Anforderungen.

Die Ergebnisse der Arbeit sind, aufgrund des Umfangs und der bereitgestellten Daten limitiert. In zukünftigen Arbeiten wird die OCQA um weitere gewerkspezifische Prüfungen erweitert. Des Weiteren besteht in der Automatisierung von Prüfplanungsprozessen große Potenziale, um die Effizienz und Effektivität der Prüfplanung zu erhöhen. Die OCQA stellt folglich das wissensbasierte Modell dar, auf deren Basis die Abdeckung weiterer Gewerke und Automatisierung der Prüfplanung erfolgen kann.

## Literatur

- [1] Institut für Bauforschung e.V. (IFB), *Baubegleitende Qualitätssicherung: Erkennen und Vermeiden von Planungs- und Ausführungsfehlern ; mit 45 Tabellen*. Köln: Müller, 2012.
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., "Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2015); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 9000:2015,"
- [3] Helmus, M., Offergeld, B., "Qualität des Bauens: BE-RICHT 44 Eine Studie über den Begriff und die Wahrnehmung von Bauqualität bei privaten und öffentlichen Bauherren und Bauunternehmen," 2012.
- [4] P. Pauwels, T. M. de Farias, C. Zhang, A. Roxin, J. Beetz, J. de Roo, and C. Nicolle, "A performance benchmark over semantic rule checking approaches in construction industry," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 33, pp. 68–88, 2017.
- [5] J. Busse, B. Humm, C. Lübbert, F. Moelter, A. Reibold, M. Rewald, V. Schlüter, B. Seiler, E. Tegtmeier, and T. Zeh, "Was bedeutet eigentlich Ontologie?," *Informatik Spektrum*, vol. 37, no. 4, pp. 286–297, 2014.
- [6] H. Brüggemann and P. Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020.
- [7] "Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB), Bauvertrag (BGB), Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), Aktuelle Gesetze: mit Nebengesetzen," 2020.
- [8] G. Hankammer, *Abnahme von Bauleistungen Hochbau: Erkennen und Beurteilen von Planungs- und Ausführungsmängeln ; mit 95 Tabellen*, 3rd ed. Köln: R. Müller, 2007.
- [9] *DIN 55350:2021-10, Begriffe zum Qualitätsmanagement*.
- [10] T. M. Forchert, *Prüfplanung: Ein neues Prozessmanagement für Fahrzeugprüfungen*. [Erscheinungsort nicht ermittelbar]: KIT Scientific Publishing, 2009.
- [11] G. Linß, *Qualitätsmanagement für Ingenieure*, 4th ed. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2018.
- [12] E. G. Caldarola, A. Picariello, and A. M. Rinaldi, "An approach to ontology integration for ontology reuse in knowledge based digital ecosystems," in *Proceedings of the 7th International Conference on Management of computational and collective intelligence in Digital EcoSystems*, New York, NY, USA, 2015.
- [13] C. Lima, T. E. Diraby, B. Fies, A. Zarli, and E. Ferneley, "The E-Cognos Project: Current Status and Future Directions of an Ontology-Enabled IT Solution Infrastructure Supporting Knowledge Management in Construction," in *Winds of change: integration and innovation of construction: Construction Research Congress ; March 19-21, 2003, Honolulu, Hawaii ; proceedings of the congress*, Honolulu, Hawaii, United States, 2003, pp. 1–8.
- [14] T. E. El-Diraby and H. Osman, "A domain ontology for construction concepts in urban infrastructure products," *Automation in Construction*, vol. 20, no. 8, pp. 1120–1132, 2011.
- [15] N. M. El-Gohary and T. E. El-Diraby, "Domain Ontology for Processes in Infrastructure and Construction," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 136, no. 7, pp. 730–744, 2010.
- [16] Y. Zheng, S. Törmä, and O. Seppänen, "A shared ontology suite for digital construction workflow," *Automation in Construction*, vol. 132, p. 103930, 2021.
- [17] P. Pauwels and W. Terkaj, "EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology," *Automation in Construction*, vol. 63, pp. 100–133, 2016.
- [18] M. H. Rasmussen, M. Lefrançois, G. F. Schneider, and P. Pauwels, "BOT: The building topology ontology of the W3C linked building data group," *SW*, vol. 12, no. 1, pp. 143–161, 2020.
- [19] A. Yurchyshyna, C. Faron-Zucker, N. Le Thanh, and A. Zarli, "Towards the Knowledge Capitalisation and Organisation in the Model of Conformity-Checking Process in Construction," in *Lecture notes in artificial intelligence and engineering systems: 12th international conference, KES 2008, Zagreb, Croatia, September 3-5, 2008 : proceedings*, I. Lovrek, R. J. Howlett, and L. C. Jain, Eds., Berlin: Springer, 2008, pp. 341–348.
- [20] P. Hitzler, M. Krötzsch, S. Rudolph, and Y. Sure, *Semantic Web: Grundlagen*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [21] B. T. Zhong, L. Y. Ding, H. B. Luo, Y. Zhou, Y. Z. Hu, and H. M. Hu, "Ontology-based semantic modeling of regulation constraint for automated construction quality compliance checking," *Automation in Construction*, vol. 28, pp. 58–70, 2012.

- [22] P. Martinez, R. Ahmad, and M. Al-Hussein, "Automatic Selection Tool of Quality Control Specifications for Off-site Construction Manufacturing Products: A BIM-based Ontology Model Approach," *mocs*, pp. 141–148, 2019.
- [23] X. Xu, C. Yuan, Y. Zhang, H. Cai, D. M. Abraham, and M. D. Bowman, "Ontology-Based Knowledge Management System for Digital Highway Construction Inspection," *Transportation Research Record*, vol. 2673, no. 1, pp. 52–65, 2019.
- [24] Hamdan, A.-H., Bonduel, M., & Scherer, R. J., "An ontological model for the representation of damage to constructions," *EUR Workshop Proceedings (Vol. 2389, Issue 6, pp. 64–77)*, 2019.
- [25] C. W. Holsapple and K. D. Joshi, "A collaborative approach to ontology design," *Commun. ACM*, vol. 45, no. 2, pp. 42–47, 2002.
- [26] Grüninger, M., Fox, M., *The design and evaluation of ontologies for enter-prise engineering: Workshop on Implemented Ontologies*, European Conference on Artificial Intelligence (ECAI), 1994.
- [27] M. Uschold and M. Gruninger, "Ontologies: principles, methods and applications," (en), *The Knowledge Engineering Review*, vol. 11, no. 2, pp. 93–136, 1996.
- [28] Mariano Fernandez and Asuncion Gomez-Pearce and Natalia Juristo, "Methontology: From Ontological Art Towards Ontological Engineering," 1997.
- [29] OTM; CoopIS; DOA; IS; ODBASE, *On the move to meaningful Internet systems: OTM 2009: Confederated international conferences, CoopIS, DOA, IS, and ODBASE 2009, Vilamoura, Portugal, November 1 - 6, 2009 ; proceedings, part II*. Berlin: Springer, 2009.
- [30] A. Gómez-Pérez, ".: From Knowledge Based Systems to Knowledge Sharing Technology: Evaluation and Assessment. Technical," *Knowledge Systems Laboratory, Stanford University*, Report KSL 94-73, 1994.
- [31] X. Xing, B. Zhong, H. Luo, H. Li, and H. Wu, "Ontology for safety risk identification in metro construction," *Computers in Industry*, vol. 109, pp. 14–30, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016636151830397x>, 2019.
- [32] GitHub, *GitHub: Let's build from here*. [Online] Available: <https://github.com/>. Accessed on: Sep. 08 2023.
- [33] M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, and N. Juristo, *METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering*: American Association for Artificial Intelligence; Facultad de Informática (UPM), 1997.
- [34] M. Poveda-Villalón, A. Gómez-Pérez, and M. C. Suárez-Figueroa, "OOPS! (Ontology Pitfall Scanner!): supporting ontology evaluation on-line," (en;English), *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 7–34, <https://www.igi-global.com/article/oops-ontology-pitfall-scanner/116450>, 2014.
- [35] A. Costin and C. Eastman, "Need for Interoperability to Enable Seamless Information Exchanges in Smart and Sustainable Urban Systems," (en), *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 33, no. 3, 2019.
- [36] Z. Zhou, Y. M. Goh, and L. Shen, "Overview and Analysis of Ontology Studies Supporting Development of the Construction Industry," (EN), *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 30, no. 6, p. 4016026, 2016.
- [37] Y. Zheng, "An object-based conceptual model for ICT-based situational awareness of the construction process," 2020.
- [38] D. L. Parnas, "On the criteria to be used in decomposing systems into modules," (EN), *Commun. ACM*, vol. 15, no. 12, pp. 1053–1058, 1972.
- [39] M. Kopp, *Modularisierung und Synthese von Zuverlässigkeitsmethoden*. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2013 (Nicht für den Austausch). Stuttgart: IMA, 2013.
- [40] A. Picot and O. Baumann, "Modularität in der verteilten Entwicklung komplexer Systeme: Chancen, Grenzen, Implikationen," *Journal für Betriebswirtschaft*, vol. 57, no. 3-4, pp. 221–246, 2007.
- [41] M. Bonduel, J. Orskari, P. Pauwels, M. Vergauwen, and R. Klein, "The IFC to linked building data converter : current status," (eng), *6th Linked Data in Architecture and Construction Workshop*, vol. 2159, pp. 34–43, <https://biblio.ugent.be/publication/8686194>, 2018.
- [42] *The Enterprise Knowledge Graph Platform | Stardog*. [Online] Available: <https://www.stardog.com/>. Accessed on: Sep. 08 2023.

# Effizienzsteigerung des Bauprojektmanagements durch Implementierung digitaler Workflows

## Increasing the efficiency of construction project management by implementing digital workflows

Frederic Weingarten, TU Dortmund, Lehrstuhl Baubetrieb und Bauprozessmanagement, 44227 Dortmund, frederic.weingarten@tu-dortmund.de

Daniel Wentzek, TU Dortmund, Lehrstuhl Baubetrieb und Bauprozessmanagement (GRK 2193), 44227 Dortmund, daniel.wentzek@tu-dortmund.de

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Forschungsgemeinschaft) im Rahmen des Graduiertenkollegs GRK-2193 "Anpassungsintelligenz von Fabriken in einer dynamischen und komplexer Umwelt".

### Kurzfassung

Im Rahmen einer sich derzeit in Entwicklung befindlichen Kollaborationsplattform für das Bauprojektmanagement wurde untersucht, inwiefern sich Effizienzsteigerungen erzielen lassen, indem der manuelle Arbeitsaufwand für notwendige Dokumentations-, Koordinations- und Kontrollprozesse als auch die Anzahl entstehender Konflikte reduziert wird. Im Untersuchungsfokus stand eine, zumindest teilweise, Automatisierung der zuvor genannten Prozessarten, der Austausch von Informationen aus unterschiedlichen Software-Tools sowie die zweifelsfreie und unumgängliche Vorgabe von Prozessabläufen in Form von implementierten Workflows in Anlehnung an die BIM-Methodik.

### Abstract

In the context of a collaboration platform for construction project management that is currently being developed, it was investigated to what extent efficiency increases can be achieved by reducing the manual workload for necessary documentation, coordination and control processes as well as the number of conflicts that arise. The focus of the investigation was on at least partial automation of the aforementioned process types, the exchange of information from different software tools and the unambiguous and indispensable specification of process sequences in the form of implemented workflows based on the BIM method.

## 1 Einleitung

Derzeit werden die für das jeweilige Bauprojekt definierte Aufbau- und Ablauforganisation, sowie die entsprechend einzuhaltenden Regelungen und Prozesse, i.d.R. in Form eines Projekt- und Organisationshandbuchs (im Folgenden Projekthandbuch) den Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt [1]. Da die Planung eines Bauwerks jedoch u.a. durch die hohe Varianz in Bezug auf Anforderungen und mögliche Lösungen geprägt ist, unterliegt die Konstellation des Projekts, und somit auch dessen Organisation, einer Dynamik im zeitlichen Verlauf [2–4]. In der Folge bedarf es einer regelmäßigen inhaltlichen Pflege des Projekthandbuchs sowie einer Kontrolle der Einhaltung gesetzter Vorgaben durch das jeweilige Projektmanagement [1]. Dennoch scheitern viele Projekte „nicht etwa an mangelnder fachlicher Kompetenz der am Projekt beteiligten Mitarbeiter, sondern an dem organisatorischen Durcheinander“ [4].

Da neben den zeitlichen auch die kognitiven Fähigkeiten der Projektbeteiligten limitiert sind, werden Informationen idealerweise in einer Quantität bereitgestellt, bei der der Nutzen, die Kosten für das Zusammentragen, das Aufbereiten und die Kommunikation, übersteigt [5]. Die Konsequenz hieraus ist, dass in Projekthandbüchern die Darstellung der notwendigen Informationen zur Projektorganisation, im Sinne der Wahrung einer wirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Relation, lediglich in einem Detailgrad erfolgen kann, der in Bezug auf einzelne Punkte nicht in der Lage ist, zweifelsfrei darzustellen, welche Erwartungshaltung seitens des Projektmanagements herrscht.

In der Folge können verschiedene oder sogar gegensätzliche Verständnisse unterschiedlicher Projektparteien entstehen [6]. Dies ist insofern problematisch, da unklare Anforderungsvorgaben zu den häufigsten Konfliktursachen zählen [7]. Die Folgen entstandener Konflikte innerhalb eines Bauprojektes können in ihrer Ausprägung stark variieren. Als Gemeinsamkeit über alle Ausprägungsarten hinweg bleibt jedoch festzuhalten, dass der Bedarf an

DOI: 10.17185/dupublico/79141



Ressourcen, im Vergleich zu einem konfliktfreien Ablauf, erhöht und somit die Effizienz reduziert wird [8].

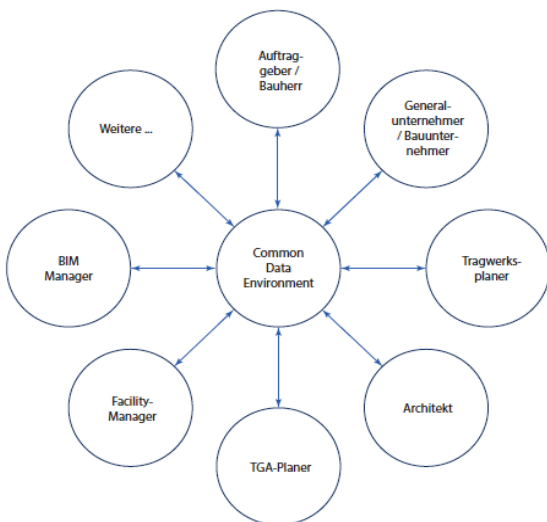
Eine weitere mögliche Folge der nicht zweifelsfreien Darstellung ist, dass der ohnehin hohe Aufwand für die Kommunikation, Verwendung und den Austausch von Informationen weiter erhöht wird, da Prozesse durch einzelne Akteure, zumindest in Teilen, nicht in ihrer ursprünglich seitens des Projektmanagements angedachten Form umgesetzt werden [9]. Auch hieraus ergibt sich eine weitere Reduzierung der Effizienz in der Projektabwicklung.

## 2 Forschungsansatz

Nicht zuletzt durch die ohnehin bestehende Komplexität im Bauwesen wird stetig nach Möglichkeiten gesucht eine Komplexitätsreduktion mittels digitaler Hilfsmittel und neuartiger Projektabwicklungs-Methoden zu erzielen [10]. Im Zuge dessen wurde unter anderem die für die Bauprojektabwicklung grundlegend neue Methode des Building Information Modeling (BIM) entwickelt.

Hierbei handelt es sich um eine kooperative Planungsmethodik, deren Kern ein digitales Bauwerksmodell bildet, wobei neben den geometrischen, auch weitere bauteilorientierte semantische Informationen, wie bspw. bauteilspezifische Eigenschaften, Kosten oder Aufwandswerte, in Form von Attributen zugewiesen werden können. Darüber hinaus können weitere Verknüpfungen, bspw. mit relevanten Dokumenten, hergestellt werden. [11][12]

Werden erweiterte Funktionen der Informationsbereitstellung, wie sie im Vorstehenden beispielhaft aufgezeigt wurden, eingesetzt, kann von einer Erweiterung des Bau-



werkmodells zum Bauwerksinformationsmodell gesprochen werden [12]. Durch die Bereitstellung des Bauwerksinformationsmodells auf einer zentralen Datenplattform, bezeichnet als Common Data Environment (CDE) (siehe Abb. 1), wird die Bereitstellung von konsistenten relevanten Informationen als Grundlage der jeweiligen Leistungserbringung für sämtliche Projektbeteiligte ermöglicht [13].

Neben einer neuen Technologie zur Informationsbereitstellung, liegt ein weiterer Fokus von BIM auf der Prozessorganisation. Im Gegensatz zum derzeit oftmals vorherrschenden Verständnis im Bauwesen, wird hierbei jedoch nicht die durch ein Einzelunternehmen zu erbringende Teilaufgabe, sondern dessen Integration in den zur Projektabwicklung notwendigen Gesamtprozess in den Vordergrund gestellt. Um die hierfür notwendige Interaktion zwischen den projektspezifischen Akteuren im Sinne des jeweiligen Projektes möglichst effizient zu koordinieren, werden sogenannte Workflows eingesetzt. [14]

Durch den Einsatz von vorgegebenen Workflows in der BIM-Methodik, als kooperative Planungsmethodik, konnten Effizienzsteigerungen u.a. in Form von Konfliktvermeidung sowie die Einhaltung von Prozessen aller Beteiligten erzielt werden [15, 16]. Diese Erkenntnis dient als Grundlage für die Untersuchung der Effizienzsteigerung durch die generelle Einführung von digitalen Workflows in der Bauprojektabwicklung in Anlehnung an die BIM-Methodik.

In der vorliegenden wissenschaftlichen Ausarbeitung wird der Begriff Workflow, zu Deutsch Arbeitsprozess oder Arbeitsablauf, als ein strukturierter, in Teilen automatisierbarer, Austausch von projektspezifischen Informationen zwischen verschiedenen und somit unternehmensübergreifenden Projektakteuren zur Erfüllung einer Aufgabe oder Funktion verstanden, wobei interne Unternehmensprozesse wie auch Ablaufstandards für die gesamte Baubranche nicht in die Betrachtungen dieser Ausarbeitung mit einbezogen werden. Hauptelemente eines Workflows sind die zur Erfüllung der jeweiligen Aufgabe notwendigen Werkzeuge, Informationen in Form von Daten, Rollen und die damit einhergehenden unterschiedlichen Zugriffsrechte der verschiedenen Beteiligten sowie die jeweils erforderlichen Prozessschritte (siehe Abb.2) und die sich hieraus ergebende notwendige inhaltliche und zeitliche Anordnung. [14]

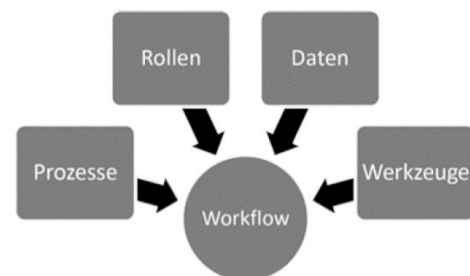


Abbildung 2: Hauptelemente eines Workflows nach [26]

Ziel dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung ist zu untersuchen, inwiefern sich weitere Effizienzsteigerungen, insbesondere im Bereich des Projektmanagements, erzielen lassen, indem digitale Workflows im Rahmen einer Kollaborationsplattform, auch außerhalb der Planungsphase, implementiert werden. Die angestrebten Effizienzsteigerungen werden hierbei zum einen in der Vermeidung von Konflikten durch interpretationsfreie und unumgängliche Prozessvorgaben, zum anderen in einer, zumindest teilweisen, Automatisierung derzeit manuell auszuführender Dokumentations-, Koordinations- und Kontrollprozessen vermutet.

### 3 Forschungsmethode

Die PricewaterhouseCoopers GmbH (PwC) entwickelt derzeit eine Software für das Projektmanagement von Bauprojekten, den sogenannten „Construction Hub“ (CHub). Ziel der Software ist die Schaffung einer zentralen Kollaborations-

**Abbildung 1:** Common Data Environment als zentralisierte Grundlage für eine kollaborative Leistungserbringung nach [27] Kollaborationsplattform mittels derer u.a. in den Bereichen

Vertrags-, Rechnungs- und Nachtragsmanagement, Prozesse in Form digitalisierter Workflows abgewickelt und durch Teilautomatisierungen unterstützt werden können. [17]

Über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr wurde PwC von einem der Autoren bei der Entwicklung dieser Software begleitet. Hierfür wurden verschiedene Entwicklungsstadien der Software genutzt, um Prozesse aus realen Projekten der DERICHS u KONERTZ Projektmanagement GmbH zu simulieren. Bei den zuvor angesprochenen realen Projekten handelt es sich ausschließlich um Hochbauprojekte, die in Form einer Einzelgewerkvergabe für eine nicht öffentliche Bauherrenorganisation abgewickelt werden.

Durch die Begleitung sollten jene Prozesse des Projektmanagements identifiziert werden, welche durch die Abwicklung in Form digitaler Workflows im Rahmen einer Kollaborationsplattform, im Vergleich zum derzeit üblichen Status quo im Projektalltag, zu deutlichen Effizienzgewinnen führen. Der Fokus wurde hierbei, wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, auf jene Prozesse gelegt, bei denen eine mögliche Effizienzsteigerung durch die Vermeidung von Konflikten durch interpretationsfreie und unumgängliche Prozessvorgaben wie auch in der teilweisen Automatisierung notwendiger Dokumentations-, Koordinations- und Kontrollprozessen gesehen wird.

Da einer der Autoren somit Bestandteil des Arbeitsprozesses zur Entwicklung der angesprochenen Software war, kann hinsichtlich der angewendeten wissenschaftlichen Methode von einer teilnehmenden Beobachtung gesprochen werden [18].

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Allgemeines

Aufgrund des begrenzten Umfangs dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung, können die identifizierten Effizienzsteigerungen nicht gesamthaft dargestellt werden. Entsprechend werden auszugswise einige ausgewählte Einzelfälle aufgeführt.

Die dargestellten Eigenschaften und Funktionen einzelner Workflows wie auch der Kollaborationsplattform an sich, stellen nicht den zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit vorliegenden Stand der in der Entwicklung begleiteten Software dar. Vielmehr werden jene Eigenschaften und Funktionen dargestellt, die zur Erreichung einer möglichst großen Effizienzsteigerung in Gänze implementiert werden müssten.

Zur besseren Verständlichkeit der in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse, werden im Folgenden jene Eigenschaften aufgeführt, die durch eine Kollaborationsplattform erfüllt werden müssen, damit die beschriebenen Effizienzsteigerungen in Kraft treten können:

- Verträge inkl. Leistungsverzeichnisse können als referenzbasierte Datenbankstrukturen mittels GAEB-Schnittstelle auf der Plattform hinterlegt werden
- Im Rahmen von Workflows kann auf hinterlegte Leistungsverzeichnisse zugegriffen werden
- Einzelnen Leistungspositionen können terminliche Meilensteine zugewiesen werden
- Die Kollaborationsplattform kann einen automatisierten Abgleich zwischen Meilensteinen eines eingelesenen Terminplans und denen in den einzelnen Leistungsverzeichnissen zugewiesenen Meilensteinen vornehmen
- Es werden personenspezifische Accounts eingerichtet
- Den personenspezifischen Accounts können unterschiedliche Zugriffsrechte zugewiesen werden
- Den personenspezifischen Accounts können zu erledigende Aufgaben innerhalb eines Workflows zugewiesen werden

### 4.2 Workflow zum Nachtragsmanagement

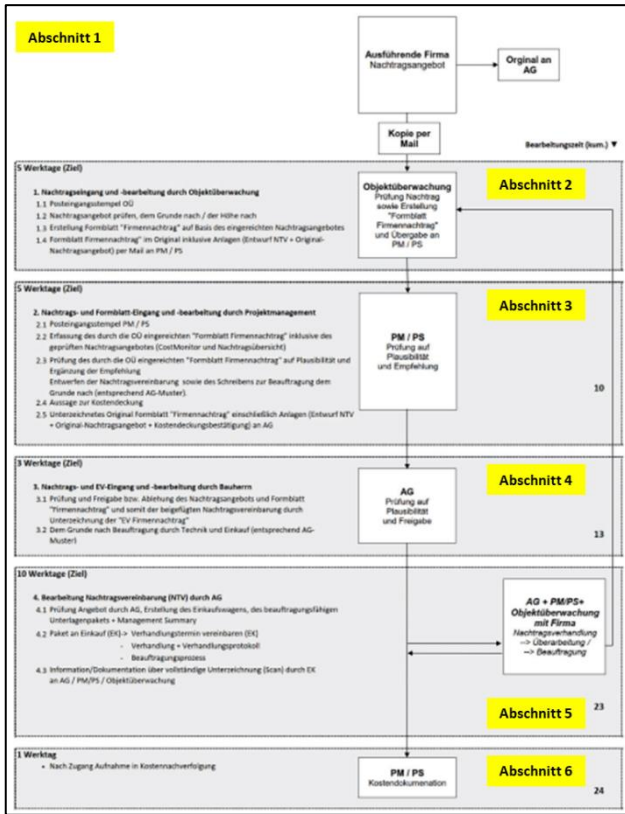
In Abbildung 3 ist eine beispielhafte Ablaufstruktur zur Prüfung eines durch eine bauausführende Firma eingereichten Nachtrags gemäß [19] dargestellt.

Im Folgenden werden die in Bezug auf der in Abbildung 3 dargestellten Ablaufstruktur identifizierten Effizienzsteigerungen dargestellt, welche sich bei einer Abwicklung des Nachtragsmanagement mittels eines digitalen

Workflows im Rahmen einer Kollaborationsplattform generieren lassen.

### Effizienzsteigerung 1

Zu Beginn des dargestellten Ablaufs (siehe Abschnitt 1 in Abb. 3) wird lediglich von einem Nachtragsangebot seitens der ausführenden Firma gesprochen. Vorgaben zu Aufbau und Strukturierung des Nachtragsangebots wer-



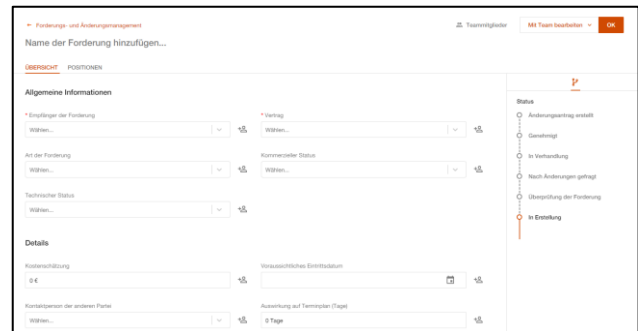
**Abbildung 3:** Eigene Bearbeitung: Ablaufstruktur zur Nachtragsprüfung einer bauausführenden Firma gemäß [19]

den nicht dargestellt. In der Folge finden sich, in Abhängigkeit von denen individuell im Projekt tätigen Personen, unterschiedlichste Strukturen und Systematiken, die bei

der Erstellung eines Nachtragsangebots zur Anwendung kommen [20]. Es empfiehlt sich jedoch, insbesondere bei größeren Bauprojekten, einen einheitlichen Aufbau und eine einheitliche Struktur des zu prüfenden Nachtragsangebots zu vereinbaren [19]. Ist dies nicht der Fall, bedarf es eines Transfers von der seitens des Auftragnehmers angewendeten Struktur, in die seitens des Projektmanagements angewendete Struktur, um eine Bewertung des vorliegenden Nachtragsangebots, bspw. hinsichtlich einer Kostendeckung (siehe Punkt 2.4 unter Abschnitt 3 in Abb. 3) vornehmen und nach erfolgter Beauftragung in die Kostenverfolgung (siehe Abschnitt 6 in Abb. 3) integrieren zu können.

Wird das Nachtragsangebot eines Auftragnehmers jedoch in Form eines digitalen Workflows im Rahmen einer

Kollaborationsplattform erstellt, kann dieser Transferaufwand vermieden werden. Um diese Effizienzsteigerung zu erreichen, sieht der Workflow zu Beginn eine gezielte Datenabfrage vor, die entweder durch eine manuelle Eingabe oder Auswahl innerhalb eines seitens des Projektmanagements vordefinierten Dropdown-Menüs durch den entsprechenden Auftragnehmer zu beantworten ist (siehe Abb. 4). Nach Befüllung aller vorgegeben Felder, wird das entsprechende Nachtragsangebot im Rahmen der Kollaborationsplattform generiert.



**Abbildung 4:** Screenshot aus CHub

Durch das im Vorstehenden beschriebene Vorgehen, wird die Festlegung von Struktur und Systematik eines Nachtragsangebots vom Auftragnehmer zum Auftraggeber bzw. dessen Projektmanagement verlagert. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Erstellung eines Nachtragsangebots nach einer Struktur und Systematik erfolgt, die eine Bewertung durch das Projektmanagement ohne vorherigen Transfer erlaubt und somit eine Effizienzsteigerung im Vergleich zum derzeit üblichen Vorgehen generiert.

### Effizienzsteigerung 2

Da Bauprojekte und somit auch die bei der Realisierung entstehenden Nachträge Unikate sind, können die für den Nachweis der Notwendigkeit eines Nachtrags erforderlichen Belege nicht pauschal festgelegt werden, sondern sind Einzelfallspezifisch zu definieren [21].

Um dennoch den im Nachgang zur Nachtragsangebotserstellung entstehenden schriftlichen Austausch zur Anforderung benötigter Nachweise in Teilen zu reduzieren, und somit eine Effizienzsteigerung im Bereich des Projektmanagements zu erreichen, wird eine Kategorisierung des Nachtragsangebots sowie die hierfür entsprechend notwendige Mindestnachweise in den digitalen Workflow implementiert. Die Kategorisierung und der Upload der jeweiligen Mindestnachweise ist im Bereich der unter „Effizienzsteigerung 1“ bereits angesprochenen gezielten Datenabfrage durch den Auftragnehmer vorzunehmen.

Zur weitergehenden Erläuterung der im Vorstehenden skizzierten Effizienzsteigerung, wird als Beispiel ein Nachtragsangebot gewählt, welches §2 Abs. (5) VOB/B entspricht und somit als „nachträgliche Leistungsänderung

durch den Auftraggeber“ zu kategorisieren ist [22]. Als Mindestnachweis hat der Auftragnehmer innerhalb des Workflows zum einen die entsprechende Person seitens des Auftraggebers zu benennen, die die entsprechende Leistungsänderung angeordnet hat, zum anderen ist anzugeben, in welcher Form die Anordnung erfolgt ist. Sofern als Anordnungsform „Schriftlich“ ausgewählt wird, ist ein entsprechender Nachweis durch den Auftragnehmer hochzuladen. Im nächsten Schritt des Workflows wird durch die zuvor benannte Person auf Auftraggeberseite die entsprechende Anordnung dem Grunde nach bestätigt bzw. abgelehnt.

Können die geforderten Mindestnachweise seitens des Auftragnehmers nicht erbracht werden, da im gewählten Beispiel keine konkrete Person benannt werden kann, kann der Workflow und somit die Erstellung des Nachtragsangebots nicht abgeschlossen werden.

Der Aufwand zur Prüfung eines Nachtragsangebotes, welches abzulehnen ist, da dem Grunde nach kein Anspruch besteht, sowie der damit einhergehende mögliche Klärungsaufwand, inkl. entsprechender Dokumentation, bis zur finalen Ablehnung des Nachtragsangebotes, wird vermieden und hierdurch eine Effizienzsteigerung erreicht.

### **Effizienzsteigerung 3**

Die Prüfung des durch den Auftragnehmer erstellten Nachtragsangebots dem Grunde sowie der Höhe nach, erfolgt im beispielhaft aufgezeigten Ablauf durch die Objektüberwachung (siehe Punkt 1.2 in Abb. 3). In beiden Prüffällen ist zu ermitteln, inwiefern das durch den Auftragnehmer im Rahmen des Nachtrags dargestellte Bau-Ist vom vereinbarten Bau-Soll abweicht [23].

Da im beispielhaften Ablauf das zu prüfende Nachtragsangebot als „Kopie per Mail“ (siehe Abschnitt 1 in Abb.3) an die Objektüberwachung übermittelt wird, ist davon auszugehen, dass dieses dem Prüfenden als pdf-Dokument vorliegt. In der Folge ist ein manueller Abgleich zwischen Nachtrags- und ursprünglich vereinbarten Vertragsleistungen notwendig. Um diesen manuellen Kontrollaufwand so weit wie möglich zu reduzieren, werden teilautomatisierte Prüfungen in den Workflow des Nachtragsmanagements implementiert.

Zur weitergehenden Erläuterung der zuvor angesprochenen Effizienzsteigerung durch eine teilautomatisierte Prüfung, wird als Beispiel ein Nachtragsangebot der Höhe nach gewählt, bei dem der Auftragnehmer eine Mengenerhöhung inklusive einer Einheitspreisanpassung gegenüber dem ursprünglichen Vertrag geltend machen möchte. Voraussetzung für eine solche Anpassung des Einheitspreises aufgrund einer Mengenerhöhung ist gemäß VOB/B erst möglich, wenn die ursprünglich vereinbarte Menge um mindestens 10 % überschritten wird [24].

Gemäß der unter „Effizienzsteigerung 2“ beschriebenen Effizienzsteigerung durch Mindestnachweise, sind die durch das Nachtragsangebot betroffenen Leistungspositionen, welche bereits im ursprünglichen Vertrag enthalten

sind, innerhalb des Workflows auszuwählen. Beabsichtigt der Auftragnehmer eine Anpassung des Einheitspreises im Vergleich zum ursprünglich vereinbarten, ist eine entsprechende Begründung hierfür per Dropdown-Menü auszuwählen. Wird entsprechend des skizzierten Beispiels als Grund „Einheitspreisanpassung aufgrund von Mengenerhöhung > 10 %“ ausgewählt, erfolgt eine automatisierte Prüfung durch die Plattform, inwiefern die hierfür notwendigen Parameter erfüllt werden. In diesem Fall erfolgt durch die Plattform somit eine automatische Prüfung, inwiefern die seitens des Auftragnehmers angegebene Mengenerhöhung die Schwelle von 10 % überschreitet.

Fällt die Prüfung negativ aus, kann die Erstellung des Nachtragsangebotes durch den Auftragnehmer nicht abgeschlossen werden. Wie bereits unter „Effizienzsteigerung 2“ beschrieben, wird der Aufwand zur Prüfung eines Nachtragsangebotes, welches abzulehnen ist, sowie der damit einhergehende mögliche Klärungsaufwand, inkl. entsprechender Dokumentation, vermieden und hierdurch eine Effizienzsteigerung erreicht.

### **4.3 Workflow zur Aktualisierung von Vertragsterminen**

Das Terminmanagement eines Bauprojektes, als Bestandteil des Projektmanagements, beinhaltet u.a. die Planung der Vertragstermine für die Ausführungsphase sowie einen entsprechenden Soll- / Ist-Vergleich. Treten Anhaltspunkte oder sogar eine tatsächliche Überschreitung von Vertragsterminen ein, ist der jeweilige Auftragnehmer offiziell in Verzug zu setzen. Zudem sind die entsprechenden Anpassungen in Form einer Fortschreibung in den Terminplan einzuarbeiten. [19]

Derzeit erfolgen das Erstellen von Terminplänen und Ausschreibungsunterlagen in unterschiedlichen, speziell für den jeweiligen Aufgabenschwerpunkt konzipierten, Software-Tools (bspw. Microsoft Project für die Terminplanung und California für die Ausschreibungen). Obwohl zwischen beiden inhaltlichen Bereichen eine hohe Abhängigkeit herrscht, da die vertraglich einzuhaltenden Termine und Fristen auf der seitens des Projektmanagements durchgeführten Terminplanung basieren, bestehen zwischen den verschiedenen Software-Tools keine Schnittstellen. Entsprechend hat ein manueller Übertrag zwischen Terminplan und Vertragswerk, seitens des Projektmanagements zu erfolgen.

Wird im weiteren Projektverlauf im Rahmen einer Terminplanfortschreibung eine Anpassung der vertraglich vereinbarten Termine und Fristen erforderlich, sind diese erneut manuell in das Vertragswerk, bspw. durch ergänzende Dokumente, seitens des Projektmanagements zu übertragen. Weiterer Aufwand entsteht in diesem Zusammenhang durch die notwendige Dokumentation sowie Kommunikation gegenüber der Bauherrenschaft wie auch des jeweiligen Auftragnehmers.



Die Kommunikation inkl. der Übermittlung von Unterlagen und Dokumenten erfolgt zwischen den verschiedenen Projektbeteiligten i.d.R. via Mailverkehr. In der Folge müssen mindestens drei Software-Tools (Terminplanung, Ausschreibungsunterlagen, Mailkommunikation) parallel genutzt werden, um einen Sachverhalt, wie bspw. die Anpassung einer Vertragsfrist aufgrund einer Terminplanfortschreibung, vollumfänglich, inkl. der hierzu vollzogenen Kommunikation inklusiver aller ausgetauschter Dokumente, im weiteren Projektverlauf rückwirkend nachvollziehen zu können.

Durch die Möglichkeit, im Rahmen einer Kollaborationsplattform das jeweilige Vertragswerk inkl. Leistungsverzeichnissen in Form von referenzbasierten Datenbankstrukturen zu implementieren und einzelnen Leistungspositionen vertragliche Meilensteine zuzuweisen, werden durch die zusätzliche Verknüpfung mit dem ebenfalls implementierbaren Terminplan im Rahmen eines Workflows sowie der direkten Kommunikation zwischen Projektbeteiligten innerhalb dieses Workflows, u.a. die im Folgenden aufgeführten Effizienzsteigerungen erzeugt.

### **Effizienzsteigerung 1**

Wird ein aktualisierter Terminplan in die Kollaborationsplattform hochgeladen, erfolgt ein automatisierter Abgleich, inwiefern die Daten der Meilensteine, die zuvor einzelnen Leistungspositionen zugewiesen wurden, nach wie vor deckungsgleich mit jenen Daten sind, die dem geschlossenen Vertragswerk zu Grunde liegen.

Entsprechend wird eine Effizienzsteigerung erzielt, da der Kontrollaufwand hinsichtlich Deckungsgleichheit, auch nach mehrfacher Fortschreibung des Terminplans, von Soll- und Ist-Terminen, reduziert wird.

### **Effizienzsteigerung 2**

Ergibt der unter „Effizienzsteigerung 1“ beschriebene, automatisierte Abgleich, dass durch die Fortschreibung des Terminplans eine Abweichung zwischen denen im Vertragswerk hinterlegten und denen im aktuellen Terminplan aufgeführten Daten besteht, wird das Projektmanagement automatisch über die Plattform informiert.

Die sich hieraus ergebenden notwendigen nächsten Schritte, bspw. Anpassung der vertraglich vereinbarten Daten und deren Kommunikation an den Auftragnehmer, werden über den Workflow durch das Projektmanagement initiiert bzw. unmittelbar, innerhalb der Kollaborationsplattform, umgesetzt.

Durch die Abwicklung des Workflows innerhalb der Kollaborationsplattform erfolgt eine automatisierte Dokumentation welcher personenspezifische Account in welchem inhaltlichen Umfang eine Änderung, bspw. einer Vertragsfrist, vorgenommen hat.

Durch den sich hieraus ergebenden deutlich reduzierten Dokumentationsaufwand seitens des Projektmanagements, wird eine entsprechende Effizienzsteigerung generiert.

### **Effizienzsteigerung 3**

Wird das Projektmanagement automatisch über die Plattform informiert, dass der unter „Effizienzsteigerung 1“ beschriebene, automatisierte Abgleich, eine Abweichung zwischen denen im Vertragswerk hinterlegten und denen im aktuellen Terminplan aufgeführten Daten ergeben hat, kann das Projektmanagement im Rahmen des Workflows personenspezifisch eine Begründung für diese Abweichung einfordern. Anknüpfend an diese Begründungseinforderung kann ein Auftragnehmer, sofern ein Anspruch besteht, direkt einen Workflow zur Nachtragsangebotserstellung beginnen.

In der Folge wird der Koordinations- und Kommunikationsaufwand für die zuvor dargestellten Arbeitsschritte im Vergleich zum derzeit vorherrschenden Arbeitsalltag, in dem der größte Teil der Koordination und Kommunikation mittels Mail erfolgt, deutlich reduziert.

## **5 Weiterer Forschungsbedarf**

Die in den vorstehenden Kapiteln aufgezeigten Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung, sind zum Zeitpunkt der Erstellung dieser wissenschaftlichen Arbeit, lediglich in Teilen innerhalb der bei der Entwicklung begleiteten Kollaborationsplattform implementiert. Inwiefern eine Implementierung der derzeit nicht realisierten Funktionen aus Sicht des entwickelnden Unternehmens wirtschaftlich sinnvoll ist, steht zur Klärung aus.

Weiterer Forschungsbedarf wird von den Autoren zudem insbesondere im Hinblick darauf gesehen, inwiefern zukünftig eine Verknüpfung von Kollaborationsplattformen für das Bauprojektmanagement und BIM als kollaborative Planungsmethode erfolgen kann, um einen ganzheitlichen Ansatz zu gewährleisten und die Anzahl der Schnittstellen zu minimieren. Dies würde die Chance bieten den Ansatz der Common Data Environment (siehe Abb. 1) über den gesamten Lebenszyklus eines Bauprojektes zu verfolgen und somit das Building Information Modeling zu einem Building Information Management zu erweitern [25][12][26]. Welche Schnittstellen hierfür zu schaffen sind und welche weiteren Möglichkeiten sich im Falle eines Gelingens zur weiteren Effizienzsteigerung bieten, ist im Rahmen zukünftiger Forschungsarbeiten zu untersuchen.

## **6 Zusammenfassung**

Die derzeit übliche Abwicklung des Bauprojektmanagements ist geprägt vom Einsatz diverser, auf einen bestimmten Bereich spezialisierter Software-Tools, wie bspw. Kostenmanagement- oder Terminplanungs-Tools. Ein Informationsaustausch zwischen diesen Tools ist oftmals nur durch einen manuellen Übertrag möglich. Weitere Merkmale des derzeitigen Bauprojektmanagements sind entstehende Konflikte aufgrund unterschiedlicher Interpretationen

verschiedener Projektbeteiligter von nicht zweifelsfrei dargestellten Vorgaben zu Prozessen und Strukturen sowie ein hoher manueller Aufwand auf Seiten des Projektmanagements für die Dokumentation, Koordination und Kontrolle von Prozessen.

Anhand der in dieser Ausarbeitung dargestellten Beispiele wird aufgezeigt, dass durch eine Abwicklung des Bauprojektmanagements unter Einbeziehung digitaler Workflows im Rahmen einer Kollaborationsplattform Effizienzsteigerungen im Vergleich zur derzeit üblichen Abwicklung des Bauprojektmanagements erzielt werden können. Hauptsächlich ermöglicht werden diese Effizienzsteigerungen durch die folgenden Umstände:

- Durch die Kollaborationsplattform wird eine zentrale Datenplattform geschaffen in dessen Rahmen ein Austausch von Informationen zwischen verschiedenen Software-Tools ermöglicht und somit der manuelle Aufwand für die Koordination und Kommunikation von Informationen aus unterschiedlichen Software-Tools reduziert wird.
- Durch die Implementierung digitaler Workflows erfolgt eine interpretationsfreie Prozessabwicklung, wodurch mögliche Konflikte vermieden und somit der Aufwand für die Projektbeteiligten reduziert wird.
- Durch die Implementierung einzuhaltender Mindestanforderungen / -nachweise wird die Prüfung sowie der damit einhergehende Aufwand für die entsprechende Dokumentation, Koordination und Kommunikation im Falle einer Nichterfüllung vermieden und somit der Aufwand seitens des Projektmanagements reduziert.
- Durch die Implementierung von automatisierten Prüfungen im Bereich der digitalen Workflows kann der manuelle Kontrollaufwand seitens des Projektmanagement reduziert werden.
- Durch die Implementierung einer automatisierten Dokumentation im Bereich der Kollaborationsplattform wird der notwendige Dokumentationsaufwand reduziert.

## 7 Literatur

- [1] Kochendörfer, B.; Liebchen, J.H.; Viering, M.G.: Bau-Projekt-Management – Grundlagen und Vorgehensweisen, Studium, Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2010.
- [2] Malak Al Hattab; Farook Hamzeh: Modeling Design Workflow: Integrating Process and Organization Ausgabe 2016.
- [3] Scherer, R.J.; Hilbert, F.: Virtuelle Organisation für Bauprojekte. In: Scherer, R.J.; Schapke, S.-E. (Hrsg.): Informationssysteme im Bauwesen, VDI-Buch. Springer Vieweg, Berlin, 2014, S. 143-166.
- [4] Madauss, B.-J.: Projektmanagement – Theorie und Praxis aus einer Hand. Springer-Verlag GmbH. Springer Vieweg, Berlin, 2020.
- [5] Graafland, J.; Nijhof, A.: Transparency, market operation and trust in the Dutch construction industry: an exploratory study. In: Construction Management and Economics 25 (2007), Heft 2, S. 195-205. <https://doi.org/10.1080/01446190600830631>.
- [6] Srilakshmi, U.; Vani, A.S.; Somayajulu, M.V.N.S.S.R.K.S.: AN IN-DEPTH ASSESSMENT OF PROJECT MANAGEMENT SUCCESS FACTORS USING TOOLS AND TECHNIQUES. In: Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry Vol.12 (2021), Heft 9, S. 1027-1036.
- [7] Dittmann, K.; Zaeri Esfahani, M.: Hybrides Projekt-design – Modernes Projektmanagement abseits von Königreichen. Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Haufe Group, Freiburg, 2023.
- [8] Ehgartner, J.; Fischer, P.: Konfliktursachen bei der Abwicklung von Bauprojekten. In: Hofstadler, C. (Hrsg.): Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2019, S. 193-208.
- [9] Pichler, R.: Scrum – Agiles Projektmanagement erfolgreich einsetzen. Dpunkt.verlag, Heidelberg, 2013.
- [10] Hofstadler, C.; Motzko, C. (Hrsg.): Agile Digitalisierung im Baubetrieb. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2021.
- [11] 21597-1: ISO 21597-1:2020. ISO,
- [12] 19650-1: EN ISO 19650-1 Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM –. EN ISO, Ausgabe August 2019.
- [13] BMVI: BMVI - Umsetzung des Stufenplans Digitales Planen und Bauen, Erster Fortschrittsbericht (2017) Ausgabe Januar 2017.
- [14] König, M.: Prozessmodellierung. In: Borrmann, A.; König, M.; Koch, C. et al. (Hrsg.): Building Information Modeling.
- [15] ingenieur.de: Bauakteure bestätigen Effizienzsteigerung, 2022, <https://www.ingenieur.de/fachmedien/hlh/wissen/bauakteure-bestaetigen-effizienzsteigerung/> [Zugriff am: 07.09.2023].
- [16] Hiebl, E.: Effizienzsteigerung durch den Einsatz von BIM in der Bauausführung, 2018.
- [17] PwC Solutions GmbH: Construction Hub – Digitales Management und Controlling Ihrer Baustelle. PwC Solutions GmbH, 2023,

<https://store.pwc.de/de/produkte/construction-hub> [Zugriff am: 04.08.2023].

- [18] *Baukrowitz, A.; Boes, A.; Eckhardt, B.:* Software als Arbeit gestalten. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 1995.
- [19] *Kochendörfer, B.; Liebchen, J.H.; Viering, M.G.:* Bau-Projekt-Management – Grundlagen und Vorgehensweisen. Springer Fachmedien Wiesbaden, Lehrbuch, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2021.
- [20] *Brigola-Pulverer, M.; Frühwirth, M.:* Der Anspruch an den Abrechnungsprozess bei Infrastrukturprojekten – Aktuelle Entwicklungen und zukünftige Herausforderungen. *In: , S. 179-192.*
- [21] *Knopp, A.:* Ganzheitliches Nachtragsmanagement des Auftraggebers. Shaker, 2020.
- [22] VOB online – von Ausschreibung bis Abrechnung, 2023 [Zugriff am: 07.09.2023].
- [23] *Diederichs, C.J.; Malkwitz, A. (Hrsg.):* Bauwirtschaft und Baubetrieb – Technik - Organisation - Wirtschaftlichkeit - Recht. Springer Fachmedien Wiesbaden, Handbuch für Bauingenieure, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2020.
- [24] *Heiermann, W.; Linke, L.; Hilka, M. et al. (Hrsg.):* VOB/B-Musterbriefe für Auftraggeber – Bauherren - Generalunternehmer - Architekten - Bauingenieure. Springer Fachmedien Wiesbaden. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2021.
- [25] *Spyridis, P.; Gralla, M.; Weist, K. et al. (Hrsg.):* Lifecycle Design of Fastening Systems in Concrete Supported by BIM: Case Study Subsequent Assembly of an Industrial Robot.
- [26] *Borrmann, A.; König, M.; Koch, C. et al. (Hrsg.):* Building Information Modeling. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2021.
- [27] *Astour, H.; Strotmann, H.:* Lehrbuch Grundlagen der BIM-Arbeitsmethode. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2022.

# Untersuchungen zur Akzeptanzsteigerung komplexer Infrastrukturprojekte mittels digitaler Methoden

Jonathan Matthei, RWTH Aachen, Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen, Jülicher Straße 209d (52070 Aachen), matthei@icom.rwth-aachen.de

## Kurzfassung

Das Demokratieverständnis in Deutschland befindet sich im Wandel. Bürgerinnen und Bürger streben nach Mitbestimmung und sind bereit, dafür auf die Straße zu gehen. Besonders im Hinblick auf Infrastrukturvorhaben gelingt es trotz verschiedenster Bemühungen nicht, die Akzeptanz innerhalb der Bevölkerung zu erhöhen. Das primäre Ziel dieser vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Möglichkeiten der Nutzung digitaler Methoden im Kontext der Bürgerbeteiligung, um die Akzeptanz von komplexen Infrastrukturprojekten in der Bevölkerung zu steigern. Hierzu werden die potenziellen Vorteile und Herausforderungen neuer Formen der Bürgerbeteiligung analysiert, Hypothesen formuliert und im Rahmen einer quantitativen Studie empirisch überprüft. Die vorliegende Studie legt eine bemerkenswerte Wissenslücke der Bürgerinnen und Bürger bezüglich Bürgerbeteiligung offen und betont in besonderem Maße die essentielle Bedeutung eines verstärkten Einsatzes digitaler Methoden zur Steigerung der Akzeptanz von Infrastrukturprojekten durch partizipative Maßnahmen.

## Abstract

The understanding of democracy in Germany is changing. Citizens are striving for co-determination and are prepared to take to the streets to achieve this. Especially with regard to infrastructure projects, it is not possible to increase acceptance within the population despite various efforts. The primary objective of this paper is to investigate the possibilities of using digital methods in the context of citizen participation to increase the acceptance of complex infrastructure projects among the population. To this end, the potential benefits and challenges of new forms of citizen participation are analysed, hypotheses are formulated, and empirical tests are conducted as part of a quantitative study. The present study reveals a remarkable gap in citizens' knowledge about public participation and emphasizes in particular the essential importance of an increased use of digital methods to increase the acceptance of infrastructure projects through participatory measures.

## 1 Einleitung

„Demokratie braucht Bürgerbeteiligung, Meinungs-austausch und transparente Entscheidungen. Sie sind das beste Mittel gegen Politikmüdigkeit und Demokratieverdrossenheit“ [1]. Mit diesem Satz betont der ehemalige Präsident des Deutschen Bundestages Wolfgang Schäuble die Wichtigkeit der Öffentlichkeitsbeteiligung. Allerdings stellen Infrastrukturprojekte in ihrer Komplexität große Herausforderungen, sowohl für die Verantwortlichen als auch für die betroffene Öffentlichkeit, dar. Insbesondere bei Vorhaben von gesellschaftlicher Relevanz ist es daher notwendig, Bürgerinnen und Bürger frühzeitig zu berücksichtigen und auch zu beteiligen. In diesem Kontext hat sich die Öffentlichkeitsbeteiligung als wichtiges Instrument etabliert, um mögliche Konflikte zu vermeiden, Akzeptanz zu erhöhen und einen fruchtbaren Austausch zwischen Öffentlichkeit und Politik zu gestalten.

Gleichzeitig befindet sich die Gesellschaft durch Globalisierung und neue Technologien stets im Wandel. Insbesondere in den letzten zehn Jahren hat die Digitalisierung einen tiefgreifenden Einfluss auf fast alle Bereiche des

täglichen Lebens gewonnen. Betroffen davon ist nicht nur der gesellschaftliche Austausch, sondern auch die Interaktion mit der Regierung und der öffentlichen Verwaltung. Vorrangige Auswirkungen haben diese Entwicklungen auch auf das Thema Öffentlichkeitsbeteiligung. Dabei ist der Wunsch nach erhöhter Teilhabe auf verschiedenen Ebenen zu spüren und wird durch zahlreiche zivilgesellschaftliche Initiativen, Bürgerbewegungen oder dem wachsenden Einfluss von Nichtregierungsorganisationen deutlich. Zeitgleich sind Infrastrukturprojekte mit aktiver Beteiligung vieler Gruppen häufig in ihrer Realisierung gefährdet. Konfliktpotentiale zwischen Unternehmen, betroffenen lokalen Gruppen und Nichtregierungsunternehmen können dabei zu Verzögerungen bis hin zu Verhinderungen von Planungs- und Ausführungsprozessen führen [2]. Wie diese Entwicklungen und Strömungen zu vereinen sind, wie sie sich ergänzen und welche Herausforderungen zu beachten sind, ist eine zentrale Frage, die in den kommenden Jahren verstärkt an Bedeutung gewinnen wird. In diesem Zusammenhang wird die Notwendigkeit deutlich, die unterschiedlichen Interessen und Perspektiven der beteiligten Gruppen einzubeziehen, um Konfliktpotentiale frühzeitig zu erkennen und zu adressieren.

DOI: 10.17185/dupublico/79130



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 Lizenz (CC BY-NC 4.0)

### 1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Zum Status Quo lässt sich ein deutlicher Wunsch nach aktiver und vor allem aktivierender Öffentlichkeitsbeteiligung seitens politischer Akteure, Verwaltung und Vorhabensträgern feststellen [3]. Laut einer Studie der Bertelsmann-Stiftung wünschen sich nahezu 70% der Bürgerinnen und Bürger mehr direkte Beteiligung bei Infrastrukturprojekten [4]. Darüber hinaus äußern neun von zehn Bürgerinnen und Bürger den Wunsch nach verbesserter Informationsbereitstellung, während acht von zehn Bürgerinnen und Bürger mehr Mitsprachemöglichkeiten bei geplanten Vorhaben fordern [5]. Insbesondere bei komplexen Infrastruktur- und Investitionsvorhaben erscheinen Beteiligungsverfahren als nicht hinreichend adäquat. Die Akzeptanz gegenüber politischen Entscheidungen ist in diesem Feld als gering einzustufen [6].

Das Ziel der nachfolgenden Arbeit ist es Erkenntnisse zur Akzeptanzsteigerung komplexer Infrastrukturprojekte mittels digitaler Methoden zu liefern. Hierbei liegt der Fokus auf neuen Formen der Bürgerbeteiligung, die unter dem Begriff E-Partizipationsmaßnahmen zusammengefasst werden können.

### 1.2 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der Arbeit erfolgt basierend auf einer strukturierten Literaturrecherche die Darstellung der theoretischen Grundlagen (Kapitel 2). In diesem Zusammenhang werden der Begriff der Bürgerbeteiligung sowie neue Formen der Bürgerbeteiligung genauer betrachtet. Basierend auf den Erkenntnissen werden Hypothesen gebildet, die im Rahmen einer quantitativen Umfrage untersucht werden (Kapitel 3). An dieser wurden 265 Personen beteiligt. Die Ergebnisse hierzu werden in Kapitel 4 dargestellt. Im Anschluss werden die Erkenntnisse dieser Arbeit in Kapitel 5 zusammengefasst.

## 2 Bürgerbeteiligung

„Der Begriff Bürgerbeteiligung bezeichnet die freiwillige und unentgeltliche Teilhabe von Bürgerinnen und Bürgern an den politischen Willensbildungs- und Entscheidungsprozessen und die Möglichkeit, auf Sachentscheidungen Einfluss zu nehmen“ [7]. Als Synonym hierzu werden die Begriffe „Beteiligung“, „Öffentlichkeitsbeteiligung“ und Partizipation“ verwendet [6]. Der Begriff Beteiligung umfasst in diesem Kontext die Teilnahme oder Mitgestaltung von Bürgerinnen und Bürgern an Planungs- und Entscheidungsprozessen [5]. In diesem Zusammenhang wird in der Regel zwischen formeller und informeller Bürgerbeteiligung unterschieden.

Unter den Begriff formelle Bürgerbeteiligung fallen gesetzlich vorgeschriebene Verfahren der Beteiligung. Dies beinhaltet obligatorische Verfahren, die während des Planungsprozesses erfolgen und nur zur Information und

Konsultation der Bürger dienen [3]. Beispielhaft sind Einwendungen und Stellungnahmen im Rahmen der Planauflage oder des Erörterungstermins zu nennen.

Im Kontrast hierzu beschreibt die informelle Bürgerbeteiligung nicht verpflichtend, also nicht gesetzlich vorgeschrieben, durchzuführende Verfahren. Diese Form der Beteiligung stellt eine freiwillige und dialogfreudige Information beziehungsweise Beratung zu Bürgerinnen und Bürger dar [3]. Informelle Bürgerbeteiligung basiert somit auf keiner spezifischen Gesetzesgrundlage und keinen oder lediglich sehr geringen Vorgaben rechtlicher Formalisierung [8]. Im Gegensatz zu formellen Verfahren der Bürgerbeteiligung sind sie daher inhaltlich und methodisch weitgehend offen gestaltet. Diese, auch fakultative Beteiligungsverfahren genannt, dienen primär der Unterstützung von formellen Verfahren und liegen im Ermessen des Entscheidungsträgers. Mit informeller Bürgerbeteiligung soll hierbei die gewünschte stärkere Einbindung der Öffentlichkeit in politische Prozesse befriedigt werden [3].

Bürgerbeteiligung, welche auf allen politischen Ebenen erfolgen kann, wird häufig durch Protest gegen eine laufende Planung angestoßen [9]. Dabei ist zu beachten, dass das Informationsinteresse und die Mitwirkungsbereitschaft in der Bevölkerung umso größer werden, je konkreter die Planung eines Bauvorhabens sind. Folglich ist das Interesse der Bevölkerung am Projektverlauf am höchsten, wenn der Gestaltungsspielraum nur noch gering ist. Dies begründet Albrecht et. al. (2013) damit, dass sich oft erst zu einem späten Zeitpunkt die eigene Betroffenheit abzeichnet [3]. Panebianco et. al. (2019, S.3) schlussfolgert: „Das öffentliche und mediale Interesse ist insbesondere dann besonders groß, wenn „die Bagger rollen“ [10]. Der Sachverhalt, welcher als Partizipationsparadox beschrieben werden kann, lässt sich durch die folgende Abbildung zusammenfassen.

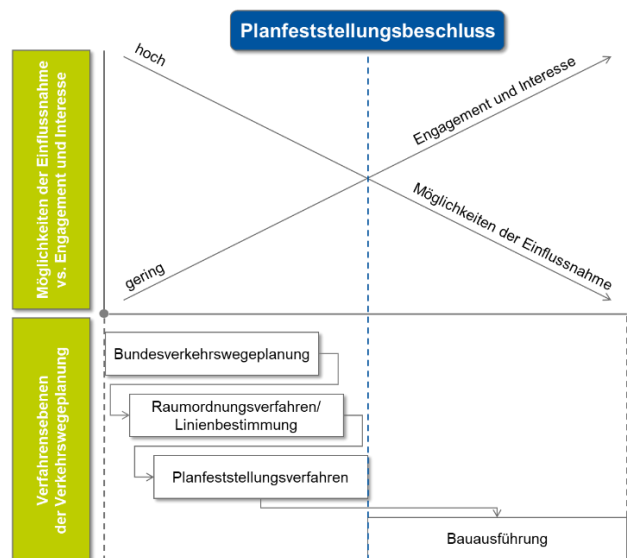


Abbildung 1: Partizipationsparadox

Bezieht man diesen Sachverhalt auf die unterschiedlichen Verfahrensebenen im Verkehrswegebau, so ist im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) die Möglichkeit der Einflussnahme am höchsten, wobei das Engagement und Interesse der Öffentlichkeit am geringsten ist. Das Engagement und Interesse steigt folglich in den weiteren Verfahrensebenen (Raumordnungs- und Linienbestimmungsverfahren), wobei die Möglichkeit der Einflussnahme sinkt. Im Planfeststellungsverfahren (PFV) ist das Engagement und Interesse am höchsten. In dieser Phase ist aber zeitlich die Möglichkeit der Einflussnahme am geringsten. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass mit dem Planfeststellungsbeschluss und der anschließenden Umsetzung der Maßnahme kein Einfluss mehr genommen werden kann [3].

## 2.1 Neue Formen der Bürgerbeteiligung

Im Zentrum neuer Formen der Bürgerbeteiligung steht der Begriff E-Partizipation (Elektronische Partizipation). Die Definitionen von E-Partizipation variieren in der akademischen Literatur, aber die meisten von ihnen beziehen sich auf das Grundkonzept der Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), um die Bürger in die Entscheidungsfindung und die Erbringung öffentlicher Dienstleistungen einzubeziehen [11]. Mit ähnlichen Worten beschreibt die Bertelsmann Stiftung den Begriff E-Partizipation [4]. Gemäß dessen umfasst E-Partizipation alle internetgestützten Verfahren, die Bürgerinnen und Bürgern eine aktive Teilhabe an politischen Entscheidungsprozessen ermöglichen. Diese digitalen Verfahren sollen Bürgerinnen und Bürgern neue Möglichkeiten geben, um an politischen Entscheidungsprozessen teilzunehmen. Das Ziel ist hierbei den Zugang der Öffentlichkeit zu Informationen und öffentlichen Diensten zu verbessern, sodass durch eine Beteiligung an Entscheidungsprozessen das Wohlergehen der Gesellschaft im Allgemeinen und des Einzelnen im Besonderen verbessert wird [12].

Bei der E-Partizipation handelt es sich um die digitale Weiterentwicklung von klassischen Formen der Bürgerbeteiligung [7]. Diese neuen Formen ermöglichen es Bürgerinnen und Bürgern digital ihre Standpunkte mitzuteilen und Entscheidungsprozesse zu beeinflussen. Trotz der Existenz einer Vielzahl unterschiedlicher Möglichkeiten zur E-Partizipation lässt sich das Verfahren in zwei große Gruppen aufteilen [4]. Einerseits kann es sich um explizite Verfahren der Online-Bürgerbeteiligung handeln, andererseits können hierbei auch Verfahren verstanden werden, die eine Kombination aus Online- und Offline-Beteiligung mit sich bringen. Im zweiten Fall werden beispielsweise traditionelle Präsenzveranstaltungen durch digitale Schulungsmöglichkeiten ergänzt.

E-Partizipation bietet eine Reihe von Vorteilen gegenüber traditionellen Formen der Bürgerbeteiligung. Zu diesen zählen:

1. **Höhere Reichweite:** Digitale Formen der Bürgerbeteiligung ermöglichen es mehr Menschen zu erreichen und in dem Zusammenhang mehr Feedback von Ihnen zu erhalten als traditionelle Beteiligungsmechanismen [11]. In der Folge kann außerdem eine höhere Diversität an Perspektiven in den Entscheidungsprozess einbezogen werden.
2. **Flexibilität:** E-Partizipation ermöglicht eine schnelle und unmittelbare Meinungsäußerung, welche nicht an räumliche und zeitliche Rahmenbedingungen gebunden ist [4]. So können Bürgerinnen und Bürger ihre Meinung und Vorschläge zu einem für sie passenden Zeitpunkt und an einem für sie passenden Ort abgeben.
3. **Anonymität:** Die Möglichkeit, anonym an Beteiligungsverfahren teilzunehmen, kann dazu beitragen, dass sich Menschen freier äußern und ihre Meinung ohne Sorge vor möglichen Konsequenzen äußern. Dies ermöglicht die Teilhabe von Personen, denen in klassischen Beteiligungsformaten der Mut oder die Erfahrung gefehlt hat [4]. Eine Intensivierung der politischen Beteiligung kann die Folge sein [13].
4. **Barrierefreiheit:** E-Partizipation ermöglicht durch den einfachen und niederschweligen Zugang den Abbau von Beteiligungsbarrieren [14]. Dies erleichtert die Teilhabe von Menschen mit Behinderungen oder eingeschränkter Mobilität, da sie bequem von zu Hause teilnehmen können.
5. **Zeit- und Kostenersparnis:** E-Partizipation kann dazu beitragen, die Zeit- und Kostenbelastung für die Organisation und Durchführung von Beteiligungsveranstaltungen zu reduzieren. So können beispielsweise Online-Foren und Umfragen schnell und einfach eingerichtet werden.

Im Zusammenhang mit der Nutzung von E-Partizipation ergeben sich aber auch zentrale Anforderungen, die es zu beachten und zu bewältigen gilt. Zu den Herausforderungen von E-Partizipationsmaßnahmen gehören:

1. **Digitale Kluft und technische Barrieren:** Teilnehmende für viele Arten der E-Partizipation müssen über einen Internetzugang und über technische Fähigkeiten besitzen. Hierbei ist festzustellen, dass einerseits Menschen mit niedrigerem Bildungsstand und niedrigerem Haushaltseinkommen und andererseits ältere Menschen oder auch Migranten das Internet weniger verwenden [4]. Die Schwelle folglich an online Veranstaltungen teilzunehmen kann höher sein.
2. **Datenschutz und Privatsphäre:** Bei der Nutzung digitaler Plattformen und Technologien zur Bürgerbeteiligung ist der Schutz personenbezogener Daten von großer Bedeutung [15]. Es ist zu beachten, dass eine aktive Teilnahme an

Beteiligungsmaßnahmen aufgrund von Datenschutzbedenken oder der Sorge vor unbeabsichtigten persönlichen oder beruflichen Konsequenzen möglicherweise vermieden wird [16].

3. **Zeitlicher und finanzieller Aufwand:** Unter Umständen der zeitliche und finanzielle Aufwand zur Implementierung neuer Möglichkeiten der Bürgerbeteiligung als hoch anzusehen [8]. Hierzu zählen Kosten, die einerseits in der Planung und Gestaltung, sowie in der Betreuung und Pflege von Online-Instrumenten anfallen [17]. Des Weiteren zählt hierzu der Zeitaufwand, der mit der Nutzung von E-Partizipationsangeboten einhergeht [15].
4. **Qualität der Beiträge:** In digitalen Umgebungen besteht die Herausforderung, eine hohe Qualität der Beiträge sicherzustellen. Es kann schwierig sein, zwischen konstruktiver Kritik, sachlichen Argumenten und Meinungsäußerungen zu unterscheiden. Hierbei nimmt die Thematik der Moderation eine zentrale Rolle ein, wodurch dieser Aspekt als zentrale Herausforderung anzusehen ist [14]. Des Weiteren kann einhergehend mit dem Faktor der Anonymität die Hemmschwelle zur Formulierung extremer Meinungen im Internet geringer sein, was ebenfalls Auswirkungen auf die Qualität der Beiträge hat [16].
5. **Glaubwürdigkeit, Legitimität und Aktualität:** E-Partizipationsmaßnahmen können mit Skepsis und Misstrauen seitens der Öffentlichkeit konfrontiert sein. Die Transparenz der Prozesse, die Offenlegung von Informationen und die Möglichkeit zur Überprüfung der Ergebnisse sind entscheidend, um die Glaubwürdigkeit und Legitimität der Beteiligungsmaßnahmen zu gewährleisten. Zeitgleich spielt bei Online-Angeboten der Faktor Aktivität von Online-Angeboten eine zentrale Rolle für die Beteiligung [16].

### 3 Hypothesen

Der nun folgende Abschnitt stellt Hypothesen vor, die im Rahmen der daran folgenden quantitativen Studie überprüft werden.

H1: Das größte Problem der Bürgerbeteiligung besteht in dem fehlenden Wissen über Bürgerbeteiligung

Innerhalb des Rahmens dieser Hypothese wird untersucht, ob das Problem möglicherweise nicht bei den aktuellen Partizipationsverfahren liegt, sondern vielmehr im Mangel an Wissen über die generellen Möglichkeiten der Beteiligung. Der erste Schritt dieser Untersuchung besteht darin, das allgemeine Wissen über die Möglichkeit zur Bürgerbeteiligung zu erfragen. Die Prüfung dieser Hypothese wird durch eine direkte Bewertung der Befragten

zur Bedeutung des Wissens über die Beteiligungsmöglichkeiten abgerundet.

H2: Die Akzeptanz von komplexen Infrastrukturprojekten lässt sich durch eine erhöhte Internetpräsenz verbessern

Basierend auf einer Studie von TNS Emnid, die ergab, dass sich "zwei Drittel der Bundesbürger (...) eine bundesweite Informationsplattform im Internet" wünschen [18], wird die Annahme abgeleitet, dass die Präsenz im Internet ebenfalls die Akzeptanz von komplexen Infrastrukturprojekten steigern könnte. Um diese Hypothese zu prüfen, wurden die Teilnehmer gebeten, ihre Zustimmung zu den folgenden zwei Aussagen auf einer siebenstufigen Skala auszudrücken: (1) Die Akzeptanz von Infrastrukturprojekten kann durch eine verstärkte Internetpräsenz verbessert werden. (2) Die derzeitigen Online-Informationen zu Infrastrukturprojekten sind unzureichend. Die Hypothese geht davon aus, dass eine intensivere Präsenz im Internet dazu beitragen kann, die öffentliche Akzeptanz für komplexe Infrastrukturprojekte zu erhöhen. Die Befragten wurden gebeten, ihre Meinung zu diesen Aussagen mithilfe der Skala darzustellen, um weitere Einblicke in die mögliche Verbindung zwischen Internetpräsenz und Akzeptanz für solche Projekte zu gewinnen.

H3: Die Akzeptanz von komplexen Infrastrukturprojekten lässt sich durch den Einsatz von Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) verbessern

Im Abschnitt 2.1 wurden verschiedene Vorteile und Potenziale des Einsatzes neuer Formen der Bürgerbeteiligung analysiert. Insbesondere virtuelle Realität (VR) und erweiterte Realität (AR) gelten als vielversprechende Technologien [19]. Im Kontext dessen werden die Teilnehmer zu einer möglichen Steigerung der Akzeptanz durch den Einsatz von AR und VR befragt.

H4: Es besteht großes Interesse am Einsatz digitaler Methoden

Im Rahmen der vierten Hypothese wird vermutet, dass die Bürgerinnen und Bürger starkes Interesse an der Anwendung digitaler Methoden haben. Um dies zu überprüfen, werden die Teilnehmenden der Umfrage einerseits nach ihrer Einschätzung zur Sinnhaftigkeit des Einsatzes von AR und VR in der Bürgerbeteiligung befragt. Zusätzlich wird die Wahrscheinlichkeit ihrer persönlichen Nutzung dieser Technologien in diesem Kontext abgefragt.

H5: Gute Bürgerbeteiligung steigert die Akzeptanz von Infrastrukturprojekten

Komplettiert wird die Umfrage durch die Frage „Wie sehr könnte Ihrer Meinung nach die Akzeptanz von Infrastrukturprojekten durch eine gute Bürgerbeteiligung erhöht

werden?“. Mithilfe dieser soll untersucht werden, ob gute Bürgerbeteiligung grundsätzlich zu einer Akzeptanzsteigerung von Infrastrukturprojekten beitragen kann.

## 4 Darstellung der Ergebnisse

In Abbildung 2 ist die Altersstruktur der Umfrageteilnehmenden dargestellt. Von 265 befragten Personen haben 261 die Frage zur Altersstruktur beantwortet. Am stärksten ist die Gruppe der 19- bis 24-Jährigen vertreten. Im Kontrast dazu steht die Zahl der Teilnehmer aus der Gruppe 65 Jahre und älter. Diese Tatsache sollte bei der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

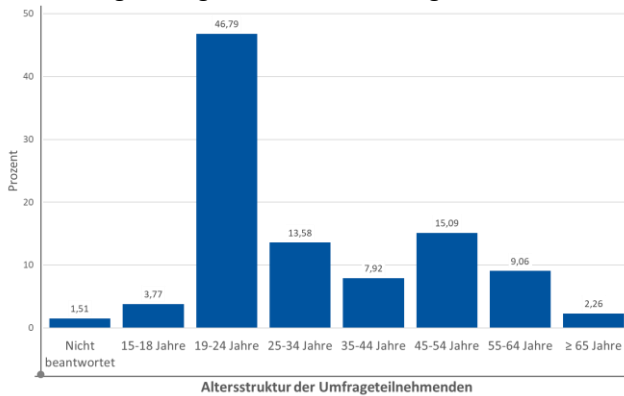


Abbildung 2: Altersstruktur der Umfrageteilnehmenden

Im Folgenden wird basierend auf der Erkenntnis eine Bewertung der in Kapitel 3 definierten Hypothesen vorgenommen.

H1: Das größte Problem der Bürgerbeteiligung besteht in dem fehlenden Wissen über Bürgerbeteiligung

Die Analyse der Umfrageergebnisse hinsichtlich der Selbsteinschätzung der Teilnehmer bezüglich ihres Wissens über Bürgerbeteiligung bei komplexen Infrastrukturprojekten ermöglichte Schlussfolgerungen zur ersten Hypothese zu ziehen. Die Wahrnehmung eines Mangels an Wissen über Bürgerbeteiligung verstärkt sich dabei. Nahezu 50 % der Befragten gaben an, über nur geringfügiges Wissen zur Bürgerbeteiligung zu verfügen (siehe Abbildung 3). Etwa 14,34 % der Teilnehmer gaben an, keinerlei Kenntnisse zu besitzen, während etwa 33 % angaben, über gewisse Kenntnisse zu verfügen.

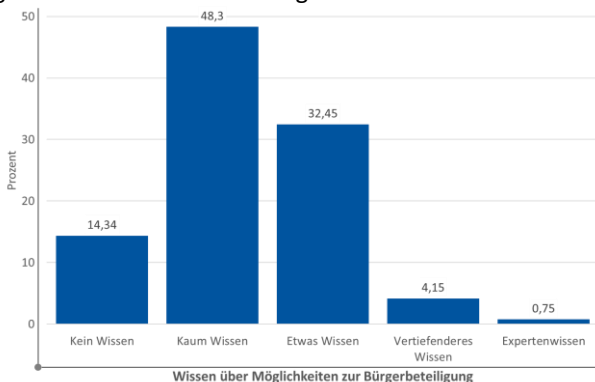


Abbildung 3: Wissen über Möglichkeiten zur Bürgerbeteiligung

In Bezug auf die Bedeutung des mangelnden Wissens in der Bevölkerung über Bürgerbeteiligung lässt sich feststellen, dass ungefähr 3 % der Befragten diesem Aspekt eine geringe oder keinerlei Bedeutung beimessen würden. Etwa 78 % betrachten das fehlende Wissen als bedeutsam oder sogar als sehr bedeutsam, während 7,55 % der Teilnehmer diesem Aspekt eine außerordentliche Bedeutung beimessen würden. Ob das Hauptproblem tatsächlich im Mangel an Wissen über Bürgerbeteiligung liegt, bleibt noch ungeklärt. Es ist jedoch festzustellen, dass ein beträchtlicher Teil der Befragten dieser Thematik eine (große) Bedeutung zuschreibt. Neben dem begrenzten Wissen über Verkehrs- und Kommunalpolitik sind die Menschen folglich unzureichend über die Möglichkeiten der Partizipation informiert.

H2: Die Akzeptanz von komplexen Infrastrukturprojekten lässt sich durch eine erhöhte Internetpräsenz verbessern

Im Rahmen der zweiten Hypothese wurden die Teilnehmenden mittels einer Skala zur Bewertung befragt. Diese Skala reicht von 1 = "Stimme überhaupt nicht zu" bis 7 = "Stimme voll und ganz zu". Der Mittelwert von 4,65 deutet darauf hin, dass die Befragten tendenziell dazu neigen, die Hypothese zu unterstützen. Gleichzeitig zeigen 17,36 % der Teilnehmenden eine gewisse Skepsis gegenüber einer verstärkten Internetpräsenz, was auf eine eher kritische Einstellung hinweist.

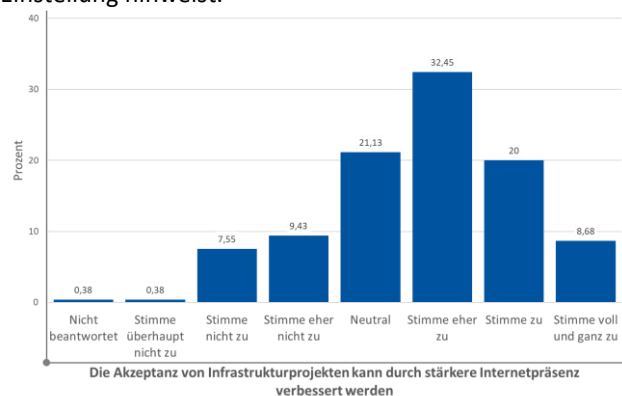
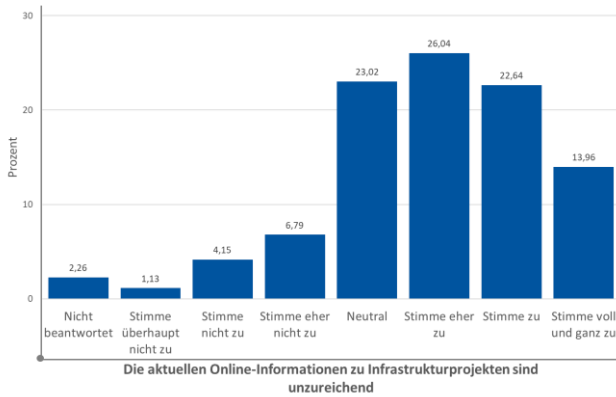


Abbildung 4: Die Akzeptanz von Infrastrukturprojekten kann durch stärkere Internetpräsenz verbessert werden

In Bezug auf die gegenwärtigen Online-Informationen lässt sich eine deutliche Unzufriedenheit feststellen. Wie aus Abbildung 5 hervorgeht, stimmen knapp 14 % der Befragten der Aussage voll und ganz zu, dass die derzeitigen Online-Informationen zu Infrastrukturprojekten unzureichend sind. Gleichzeitig stimmen weitere ca. 49 % der Befragten dieser Aussage tendenziell zu. Dies lässt in Bezug auf die zweite Hypothese schlussfolgern, dass die Akzeptanz von komplexen Infrastrukturprojekten sich grundsätzlich durch eine erhöhte Internetpräsenz verbessern kann, aktuelle Online-Informationen hierzu aber nicht ausreichen.

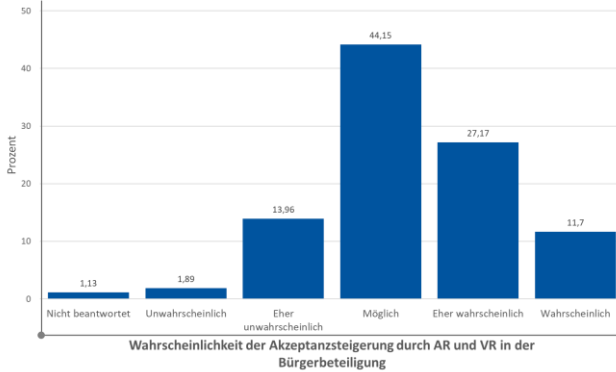




**Abbildung 5:** Status Quo von Online-Informationen

H3: Die Akzeptanz von komplexen Infrastrukturprojekten lässt sich durch den Einsatz von Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) verbessern

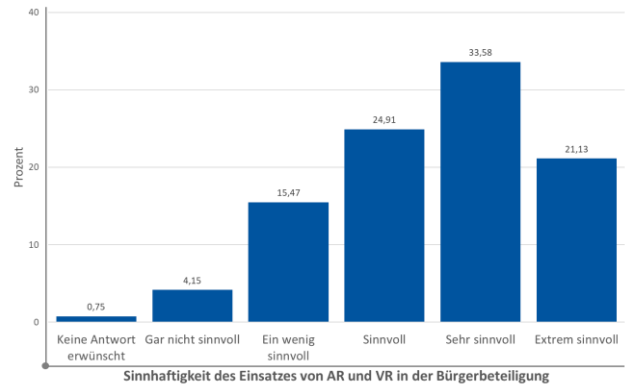
Die in Abbildung 6 dargestellten Ergebnisse verdeutlichen, dass weniger als 16 % der Befragten es als unwahrscheinlich oder eher unwahrscheinlich einschätzen, dass der Einsatz von AR und VR zur Steigerung der Akzeptanz beitragen würde. Obwohl diese Ergebnisse keinen unmittelbaren kausalen Zusammenhang zwischen der Verwendung dieser Technologien und einer tatsächlichen Steigerung der Akzeptanz zeigen, unterstreichen sie dennoch das hohe Potenzial, das die Befragten in dieser Form der Bürgerbeteiligung erkennen.



**Abbildung 6:** Wahrscheinlichkeit der Akzeptanzsteigerung durch AR und VR in der Bürgerbeteiligung

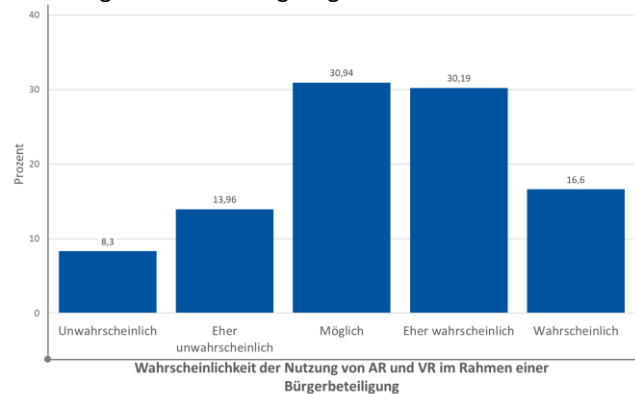
H4: Es besteht großes Interesse am Einsatz digitaler Methoden

Im Zusammenhang mit der vierten Hypothese lässt sich feststellen, dass nahezu 80 % der Befragten den Einsatz von VR- und AR-Technologien zumindest als sinnvoll erachten (siehe Abbildung 7). Gleichzeitig betrachten ca. 16% den Einsatz als ein wenig sinnvoll. Lediglich 4,15 % betrachten diesen als "gar nicht sinnvoll".



**Abbildung 7:** Sinnhaftigkeit des Einsatzes von AR und VR in der Bürgerbeteiligung

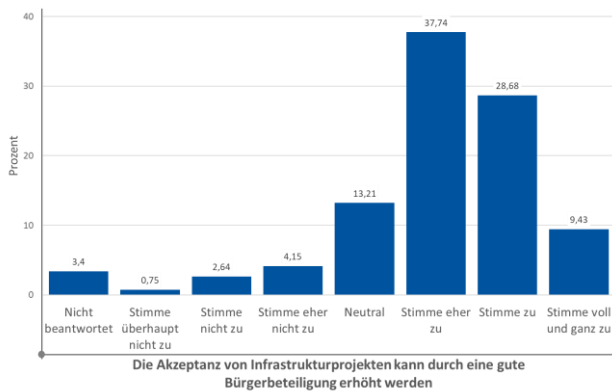
Wenn man jedoch die Antworten zur persönlichen Nutzung dieser Technologien in Abbildung 8 betrachtet, fällt auf, dass nicht alle Befragten, die den Einsatz als sinnvoll erachten, solche digitalen Methoden auch wahrscheinlich nutzen würden. Lediglich ca. 17% der Befragten gaben eine wahrscheinliche Nutzung von AR und VR in einer Bürgerbeteiligung an. Gleichzeitig hielten dies ca. 31% für möglich, wohingegen es ca. 22% als unwahrscheinlich bzw. eher unwahrscheinlich betrachten. Diese Ergebnisse sollten bei Überlegungen zur Integration von VR- und AR-Technologien in Betracht gezogen werden.



**Abbildung 8:** Wahrscheinlichkeit der Nutzung von AR und VR im Rahmen einer Bürgerbeteiligung

H5: Gute Bürgerbeteiligung steigert die Akzeptanz von Straßenbauprojekten

Wie aus Abbildung 9 ersichtlich wird, tendieren 75,85 % der Befragten dazu, anzunehmen, dass eine gute Bürgerbeteiligung die Akzeptanz von Infrastrukturprojekten erhöhen würde. Lediglich zwanzig Befragte sind der Meinung, dass eine gute Bürgerbeteiligung nicht unmittelbar zur Steigerung der Akzeptanz beiträgt. Gleichzeitig äußerten sich ca. 13% der Befragten neutral bezüglich dieser Aussage. Insgesamt lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass eine gut funktionierende Bürgerbeteiligung eine grundlegende Voraussetzung für die Steigerung der Akzeptanz von Infrastrukturprojekten darstellt.



**Abbildung 9:** Möglichkeit der Akzeptanzsteigerung durch gute Bürgerbeteiligung

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die öffentliche Nachfrage nach verstärkter Beteiligung wächst kontinuierlich. Insbesondere bei komplexen Infrastrukturprojekten ist die Akzeptanz unter den Bürgerinnen und Bürgern oft begrenzt. Digitale Ansätze eröffnen neue Wege für Bürgerbeteiligung, die sich positiv auf die Akzeptanz auswirken können. In diesem Zusammenhang zielt diese Studie darauf ab, Erkenntnisse für einen Einsatz digitaler Methoden zum Zweck der Akzeptanzsteigerung von Infrastrukturprojekten zu liefern.

Neue Formen der Bürgerbeteiligung, die unter dem Begriff der E-Partizipation zusammengefasst werden, stellen Möglichkeiten dar, die Herausforderungen traditioneller analoger Beteiligungsverfahren zu bewältigen. Zu den entscheidenden Vorteilen zählen (1) Höhere Reichweite, (2) Flexibilität, (3) Anonymität, (4) Barrierefreiheit und (5) Zeit- und Kostenersparnis. Allerdings gehen die Einführung von E-Partizipationsmöglichkeiten auch mit neuen Konfliktpotenzialen einher, die bewältigt werden müssen. Diese können unter den folgenden Herausforderungen zusammengefasst werden: (1) Digitale Kluft und technische Barrieren, (2) Datenschutz und Privatsphäre, (3) Zeitlicher und finanzieller Aufwand, (4) Qualität der Beiträge und (5) Glaubwürdigkeit, Legitimität und Aktualität.

Die in einer quantitativen Studie untersuchten Hypothesen legen nahe, dass der Öffentlichkeit grundlegendes Wissen über Beteiligungsmöglichkeiten fehlt. Gleichzeitig wurde herausgefunden, dass eine verstärkte Internetpräsenz das Potenzial hat, die Akzeptanz positiv zu beeinflussen, obwohl gewisse Vorbehalte bestehen. In diesem Zusammenhang lässt sich auch feststellen, dass die gegenwärtigen Online-Informationen zu Infrastrukturprojekten von den Bürgerinnen und Bürgern als unzureichend wahrgenommen werden. Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) werden als vielversprechende Möglichkeiten betrachtet, um die Akzeptanz zu erhöhen. Gleichzeitig zeigt der aktuelle Wunsch nach persönlicher Nutzung dieser Technologien noch Raum für Entwicklung. Bei der

Integration von AR und VR sollte dieser Aspekt berücksichtigt werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass digitale Methoden ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der Akzeptanz von Infrastrukturprojekten bieten. Daher lohnt es sich, intensiver die Möglichkeiten im Zusammenhang mit AR, VR sowie Building Information Modelling (BIM) zu erforschen. Jörg Sommer betont die nächsten Schritte in seinem Werk „Kursbuch Bürgerbeteiligung“ (2021) mit „Wir kennen die Richtung. Aber der Weg ist noch weit – und anspruchsvoll.“ [20]

## 6 Literatur

- [1] Schäuble, W.: *Bürgerbeteiligung stärkt die Demokratie* (2010). Bundeszentrale für politische Bildung, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bpb.de/die-bpb/presse/51107/buergerbeteiligung-staerkt-die-demokratie/> (Abgerufen am 5 Mai 2023).
- [2] Hammerl, B.: *Möglichkeiten und Grenzen der Öffentlichkeitsbeteiligung bei Infrastrukturprojekten* (2011) [Online]. Verfügbar unter: <https://docplayer.org/7724255-Moeglichkeiten-und-grenzen-der-oeffentlichkeitsbeteiligung-bei-infrastrukturprojekten.html> (Abgerufen am 3 Mai 2023).
- [3] Albrecht, R., Grüttner, A., Lenk, T., Lück, O., Rottmann, O.: *Optionen moderner Bürgerbeteiligung bei Infrastrukturprojekten. Ableitungen für eine verbesserte Beteiligung auf Basis von Erfahrungen und Einstellungen von Bürgern, Kommunen und Unternehmen* (2013). Kompetenzzentrum Öffentliche Wirtschaft, Infrastruktur und Daseinsvorsorge e.V.
- [4] Bertelsmann Stiftung: *Politik beleben, Bürger beteiligen. Charakteristika neuer Beteiligungsmodelle* (2012).
- [5] BMVI: *Handbuch für eine gute Bürgerbeteiligung. Planung von Großvorhaben im Verkehrssektor* (2014).
- [6] Sinning, H.: *Öffentlichkeitsbeteiligung* (2018) In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Ed.): *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*, ISBN 978-3-88838-559-9, ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, pp. 1655-1664.
- [7] lbp: *Bürgerbeteiligung. Mach mit!* (2022) [Online]. Verfügbar unter: <https://www.lpb-bw.de/beteiligung#c62093> (Abgerufen am 24 August 2023).
- [8] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin: *Handbuch zur Partizipation* (2012). Kulturbuch-Verlag GmbH, Berlin.
- [9] Himmel, W.: *Bürgerbeteiligung gelingt auch digital*. In: Luppold, S., Himmel, W., Frank, H.-J. (eds.) *Berührende Online-Veranstaltungen*, pp. 27–45. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden (2021).

- [10] Panebianco, S., Reitzig, F., Domhardt, H.-J., Vallée, D.: *Raumordnungsverfahren: Grundlagen, Beispiele, Empfehlungen* (2019). Arbeitsberichte der ARL, No. 25, ISBN 978-3-88838-419-6, Verlag der ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover.
- [11] Le Blanc, D.: *E-participation: a quick overview of recent qualitative trends* (2020). Department of Economic and Social Affairs. DESA Working Paper No. 163.
- [12] UN: E-Participation Index (2022) [Online]. Verfügbar unter: <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/About/Overview/E-Participation-Index> (Abgerufen am 13 Mai 2023).
- [13] Leitner, M. (ed.): *Digitale Bürgerbeteiligung. Forschung und Praxis - Chancen und Herausforderungen der elektronischen Partizipation*. Vol. 2018. Springer Vieweg (2018).
- [14] WZB: *Bürgerbeteiligung im Internet – Das Esslinger Fallbeispiel* (2001). Discussion Paper FS II 01 - 308, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung 2001.
- [15] Scherer, S., Wimmer, M.A.: *Vertrauensförderung in E-Partizipation. Analyse von Gefahrenpotentialen und Sicherheitsanforderungen* (2015). DuD – Datenschutz und Datensicherheit. Vol. 5, S.295-302.
- [16] Christoph Thewes, Claudia Saalbach, Ulrich Kohler: *Bürgerbeteiligung bei umweltrelevanten Großprojekten* (2014).
- [17] Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen: *Werkzeugkasten Dialog und Beteiligung. Ein Leitfaden zur Öffentlichkeitsbeteiligung* (2012).
- [18] TNS Emnid: *Bürgerbeteiligung und Infrastrukturplanung. Management Report* (2012) [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/user\\_upload/Buergerbeteiligung\\_und\\_Infrastrukturplanung.pdf](https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/user_upload/Buergerbeteiligung_und_Infrastrukturplanung.pdf) (Abgerufen am 24 August 2023).
- [19] Spieker, A.; Wenzel, G.; Brettschneider, F.: Bauprojekte visualisieren. *Leitfaden für die Bürgerbeteiligung* (2017).
- [20] Sommer, J.: *Kursbuch Bürgerbeteiligung* (2021) [Online]. Verfügbar unter [https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=-yR-JEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=B%C3%BCrgerbeteiligung&ots=yIKMNIho1\\_&sig=rblKEIPfMOZT-LpO2Wz7GZ97jBFk#v=onepage&q=B%C3%BCrgerbeteiligung&f=false](https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=-yR-JEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=B%C3%BCrgerbeteiligung&ots=yIKMNIho1_&sig=rblKEIPfMOZT-LpO2Wz7GZ97jBFk#v=onepage&q=B%C3%BCrgerbeteiligung&f=false) (Abgerufen am 4 Mai 2023).

# Modellbasierte Simulation von Bevorratungsstrategien als Teil der Baulogistikplanung

## Model-based simulation of supply strategies as part of construction logistics planning

**Nils Middelhoff und Gerrit Placzek (ORCID: 0000-0003-4805-350X)**, Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Schleinitzstraße 23A, 38106 Braunschweig, Korrespondenz: g.placzek@tu-braunschweig.de

### Kurzfassung

Um Bauprozesse effizienter zu gestalten, setzen Bauherren und Unternehmen zunehmend auf projektspezifische Baulogistikkonzepte. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Wahl der Versorgungsstrategie, die Auswirkungen auf den Materialfluss und die Nutzung der Lagerflächen hat. Konventionelle 2D-Planungen von Logistikprozessen sind aufgrund von technischen Abhängigkeiten oder konkurrierenden Disziplinen über Lagerflächen kaum ausbaufähig. Eine BIM-basierte Baulogistikplanung könnte es ermöglichen, verschiedene Bevorratungsstrategien zu simulieren, um Raum-Zeit-Konflikte zu identifizieren und alternative Logistikkonzepte zu nutzen. Dieser Ansatz wurde jedoch bisher nicht im Detail untersucht. In diesem Beitrag wird eine Methodik vorgestellt, die die Simulation verschiedener Bevorratungsstrategien ermöglicht. Durch die Anreicherung eines 4D-Modells mit baulogistischen Informationen werden Lagerflächenausnutzung und Lieferstrategien am Beispiel des Trockenbaus untersucht. Die Methodik veranschaulicht das Potenzial von BIM-Modellen und Simulationen für die Baulogistikplanung zur Entwicklung effizienter Lieferstrategien.

### Abstract

In order to make construction processes more efficient, clients and companies are increasingly relying on project-specific construction logistics concepts. A key aspect is the choice of a supply strategy that has an impact on the flow of materials and the use of storage space. Conventional 2D planning of logistics processes are hardly suitable for expansion due to technical dependencies or competing disciplines about storage space. BIM-based construction logistics planning could make it possible to simulate different supply strategies in order to identify space-time bottlenecks and use alternative logistics concepts. However, this approach has not been studied in detail so far. This paper presents a methodology that allows the simulation of different supply strategies. By enriching a 4D model with construction logistics information, storage space utilisation and delivery strategies are investigated using drywall construction as an example. The methodology illustrates the potential of BIM models and simulations for construction logistics planning to develop efficient supply strategies.

## 1 Einleitung

Bei den Bemühungen zur effizienteren Realisierung von Bauprojekten erlangt die Erarbeitung projektspezifischer Baulogistikkonzepte zunehmend an Bedeutung. Die Notwendigkeit einer Baulogistik wird häufig mithilfe der Arbeitszeitstudie von [1; 2] begründet. Demnach entfällt bei Arbeiten des allgemeinen Ausbaus knapp ein Drittel der Arbeitszeit auf nicht-wertschöpfende Anteile, die durch baulogistische Maßnahmen reduziert oder vermieden werden könnten. In einer jüngeren Studie verdeutlichen *Denzler/Odemer/Schwarzwälder* [3], dass durch die Optimierung baulogistischer Aktivitäten auch finanzielle Vorteile auf die Preisermittlung entstehen könnten. Im Unterschied

zum Rohbau erfolgt die Belieferung der Baustelle im Ausbau in eher kleineren Mengen mit einer größeren Vielfalt an Materialien [4]. Es ergibt sich nicht nur durch die Vielzahl der Arbeitsorte eine höhere Anzahl an verschiedenen, gewerkespezifischen BE-Anordnungen. Der Ausbau zeichnet sich auch durch viele parallel tätige Gewerke aus, die es zu koordinieren gilt. Angesichts des in der Ausbauphase großen Materialbedarfs und der erhöhten Lieferfrequenz durch kleinteilige Anlieferungen müssen geeignete Konzepte und Strategien entwickelt werden, um Improvisation und „chaotische“ Verhältnisse auf der Baustelle zu vermeiden [5].

DOI: 10.17185/dupublico/79112



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 Lizenz (CC BY-NC 4.0)

## 1.1 Bevorrungsstrategien der stationären Industrie

Eine (frühzeitige) Baulogistikplanung zielt daher darauf ab, den Materialfluss in seiner Gesamtheit möglichst störungsfrei und effizient von der Anlieferung bis zur Entsorgung zu gestalten [6]. Ein zentraler Aspekt der Baulogistikplanung sind Anliefer- bzw. Bevorrungsstrategien. Als Bevorrungsstrategie wird die grundsätzliche Ausrichtung und Wahl u. a. von Lieferhäufigkeit, Liefergröße in Abhängigkeit vom Lagerflächenbedarf und den Lagerhaltungskosten bezeichnet [7]. Die Bevorrungsstrategie hat insbesondere für die Ausbauphase wesentlichen Einfluss auf die Lagerflächenauslastung und das Transportaufkommen einer Baumaßnahme.

Die strategische Auseinandersetzung hinsichtlich Lieferung, Lagerung und Bestellung wird in der stationären Industrie bereits seit längerem unter dem Begriff „Bevorrungsstrategie“ verfolgt [8]. Eine Bevorrungsstrategie stellt dabei eine Art der Bedarfsauslösung dar, welche in die beiden Grundformen Auftrags- und Lagerfertigung unterschieden werden kann [8]. In einer Bevorrungsstrategie nach Auftragsfertigung wird der Produktionsauftrag erst mit Eingang des Kundenauftrags erzeugt. In der Lagerfertigung löst ein Kundenauftrag die Auslieferung der Produkte aus dem Lager des Lieferanten aus. Die Lagerfertigung ist in der Bauindustrie auf Bauteil- bzw. Materialebene zu finden. Standard-Fertigprodukte wie Gipskartonplatten können unabhängig von Aufträgen vom Lieferanten produziert und eingelagert werden. So stehen sie bei Auftragseingang durch das Bauunternehmen zum sofortigen Verkauf bereit [9]. Für die Anwendung in der Baulogistik müssen die Konzepte der stationären Industrie adaptiert werden.

## 1.2 Nutzung der BIM-Methodik für die Baulogistikplanung

In der Praxis erschien die Planung der Materialströme und die Entwicklung von Bevorrungsstrategien für einzelne Gewerke lange auf Grund des Unikatcharakters der Bauprojekte als zu aufwändig und erfolgt auch bislang meist nur rudimentär auf Basis von 2D-Plänen und konventionellen Mengenermittlungen. Das Abschätzen von Lagerflächenbedarfen oder des LKW-Aufkommens erfolgt üblicherweise anhand einfachen Kenngrößen aus vorherigen Bauprojekten, deren Detaillierungsgrad im Planungsphasen kaum aktualisiert oder verfeinert wird [10]. Die hohe Anzahl verschiedenartiger Gewerke mit vielfältigen technischen Abhängigkeiten erschwert zudem generell die Planung einer zeitlichen Arbeitsabfolge, sodass baulogistische Aspekte, wie Lagerflächen oder geeignete Lieferfrequenzen, kaum geplant werden und die Folgen einer Fehleinschätzung meist situativ vor Ort gelöst werden (müssen). Die auf Basis von 2D-Plänen erstellte (rudimentäre) Planung logistischer Prozesse erscheint angesichts der teils

hochgradig komplexen Ausbauphase kaum geeignet und nicht mehr zeitgemäß.

Durch die Integration der Building Information Modeling (BIM) Methode in die Planungsprozesse werden auch für die Baulogistikplanung neue Möglichkeiten der digitalen Arbeitsweise geboten. Mithilfe von digitalen (Baulogistik-) Modellen und auf Basis einer Verknüpfung mit dem Terminplan (4D-Modell) können raum-zeitliche Überschneidungen und Abhängigkeiten oder Engstellen erkannt und Materialströme durch Logistikkonzepte präventiv geplant werden [6]. Eine (BIM-/) modellbasierte Baulogistikplanung bietet im dynamischen Planungsprozess die Möglichkeit, Bevorrungsstrategien nicht nur zu planen oder simulativ zu überprüfen, sondern auch auf geänderten Materialströmen und Randbedingungen reagieren zu können. Mit diesem Beitrag soll aufgezeigt werden, wie Bevorrungsstrategien simulativ geplant und hinsichtlich der baulogistischen Auswirkung diskutiert werden können.

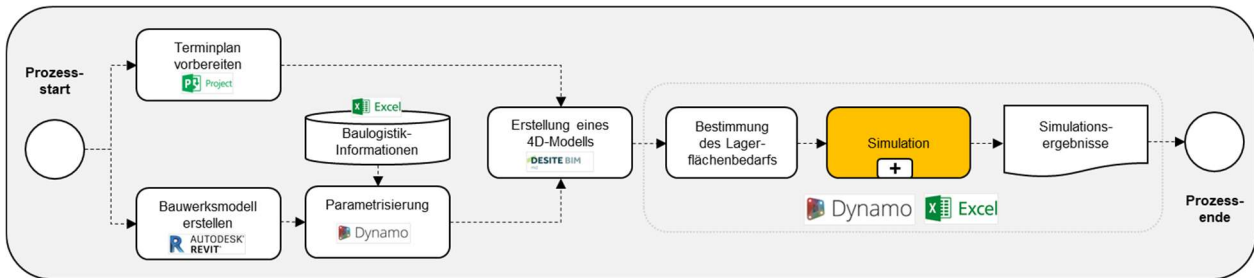
## 2 Simulation von Bevorrungsstrategien

### 2.1 Ziel

Zur BIM-basierten Simulation unterschiedlicher Bevorrungsstrategien wurde nachfolgendes Konzept entwickelt. Dieses soll helfen, eine geeignete Bevorrungsstrategie für den zur Verfügung stehenden Lagerplatz zu wählen, um Auslastung und Anlieferungen möglichst effizient aufeinander abzustimmen. Das Konzept zeigt die grundsätzlichen Schritte auf, welche zur Erzeugung einer Simulation notwendig sind. Wenngleich die Methodik anhand der gewerkespezifischen Eigenschaften des Trockenbaus entwickelt wurde, sind die Angaben gewerkeunabhängig gehalten. So besteht die Möglichkeit, die Methodik mit nur geringen Anpassungen auf verschiedene Gewerke anzuwenden. Das Ziel der Untersuchung war die Erstellung einer möglichst universell anwendbaren Methodik zur Simulation von verschiedenen Bevorrungsstrategien.

### 2.2 Konzept

Ausgehend vom Prozessstart wird zunächst ein Bauwerksmodell („BIM-Modell“) erstellt und dieses über notwendige Parameter zur späteren Verknüpfung mit einem vorzubereitenden Terminplan zu einem 4D-Modell um Parameter und (Baulogistik-relevante) Baustoffinformationen verknüpft (vgl. **Bild 1**). Das BIM-Modell wird mit Hilfe der Software Autodesk Revit erstellt und über das Plug-In „Dynamo“ parametrisiert. Neben den CAD-Informationen enthalten die Elemente verschiedene Bauteilinformationen. In das BIM-Modell fließt mit einer modellierten Lagerfläche die Lagerkapazität und damit die erste Variable des Systems ein. Die Lagerfläche ist im Modell variabel einstellbar und die Kapazität durch das entwickelte Programm abrufbar. Die baulogistischen Baustoffinformationen sind in einer Excel-Liste gespeichert. Die Liste



beinhaltet Informationen über den Flächenbedarf einer Ladeinheit (z. B. Palette Trockenbauplatten) und einen sog. Lagerflächenbedarfsfaktor (LFBF). Der Lagerflächenbedarfsfaktor (LFBF) ist ein Faktor zur Umrechnung des verbauten Baustoffs in seinen Lagerflächenbedarf und

wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts am IBB entwickelt [11]. Die beiden Bausteine stellen die grundlegenden Informationen für die Methodik bereit. Die Verknüpfung zum 4D-Modell erfolgt innerhalb der Software thinkproject! DESITE MD.

**Bild 1:** Simulationskonzept unter Hervorhebung der Software-Architektur

Bevor die eigentliche Simulation ausgeführt werden kann, erfolgt die Bestimmung des Lagerflächenbedarfs (LFB). Durch das 4D-Modell kann die benötigte Materialmenge im zeitlichen Verlauf für die einzelnen Prozesse abgebildet und ausgewertet werden. Das erforderliche Maximum stellt einen wesentlichen Eingangswert für die Simulation dar. Auf Basis dieser Werte ist für alle Bevorratungsstrategien ein erster Ansatz der Lagerkapazität zu schätzen.

**Bild 2:** Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren [13]

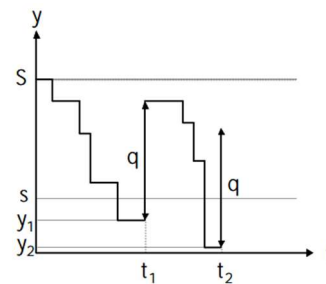
### 2.3 Varianten an Bevorratungsstrategien

Im Rahmen dieser Untersuchung werden die verbrauchsgesteuerten Dispositionsverfahren vorgestellt. Bei den in der Arbeit thematisierten Bevorratungsstrategien handelt es um [12]:

- das Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren,
- das Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahren sowie
- das Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahren.

Im **Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahren** wird die Lieferung hingegen nicht zu einem festen Zeitpunkt durchgeführt, sondern bei Unterschreitung des Sicherheitsbestandes  $s$  ausgeführt [12]. Nach Auslösung der Lieferanfrage wird eine fest definierte Losgröße  $q$  geliefert. Die Losgröße der Lieferungen und der Sicherheitsbestand sind im Rahmen einer Voroptimierung auf das Bauvorhaben und die Randbedingungen anzupassen.

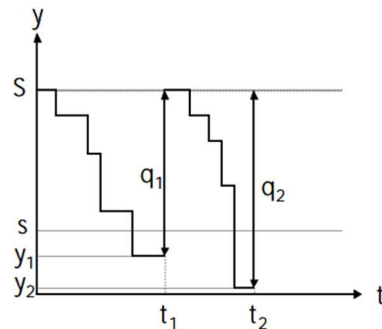
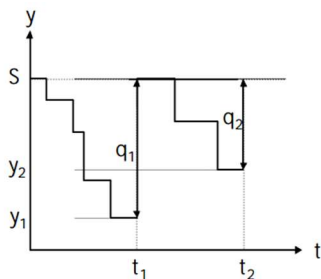
Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich der Variablen Liefermenge, -zeitpunkt und -frequenz [12].



**Bild 3:** Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahren [13]

Das **Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren** wird auch als rhythmische Disposition oder  $t,S$ -Politik bezeichnet [12]. Der Bestellzeitpunkt wird mit  $t$  gekennzeichnet, der Parameter  $S$  steht für die Bestellgrenze. Die Lieferungen werden in immer gleicher Lieferfrequenz durchgeführt. Die Lieferzeitpunkte sind somit als fester Parameter definiert. Die Liefermenge ist im Gegensatz zur Lieferfrequenz ein variabler Parameter. Bei jeder Lieferung wird das (Baustellen-) Lager bis zur Bestellgrenze  $S$  aufgefüllt. Zur Liefermengenermittlung muss der Lagerbestand  $y$  und die Bestellgrenze  $S$  bekannt sein. Hieraus ergibt sich die Liefermenge  $q$ .

Das **Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahren** wird auch als  $s,S$ -Politik bezeichnet und zeichnet sich durch zwei statt nur einem variablen Parameter aus [12]. Der Bestellauftrag wird durch das Unterschreiten des Sicherheitsbestandes  $s$  automatisch ausgelöst. Die Liefermenge  $q$  ist ebenfalls variabel und ergibt sich aus der Differenz zwischen Bestellgrenze  $S$  und Lagerbestand  $y$ .

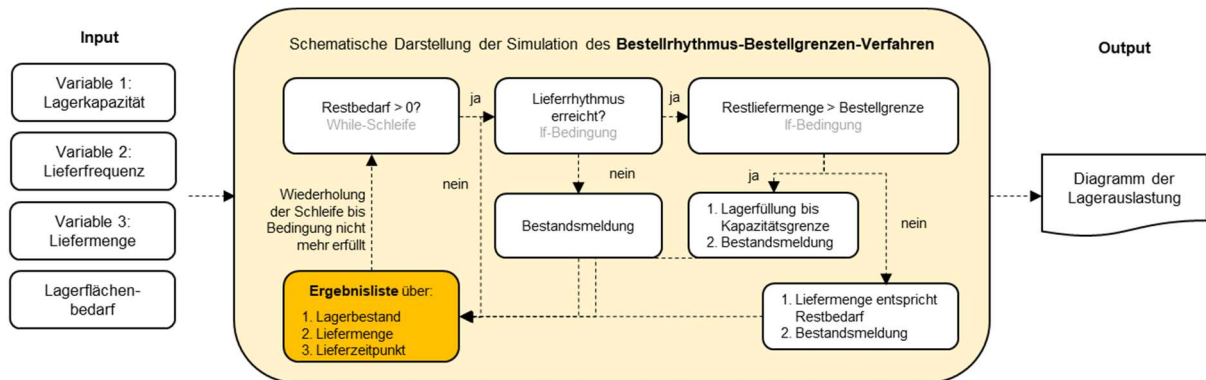


**Bild 4:** Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahren [13]

## 2.4 Simulationsprogramm

In Bild 5 ist das Simulationsprogramm in den drei Bereichen (1) Input, (2) Simulation und (3) Output aufgeteilt

und zeigt hier beispielhaft die Bevorrungsstrategie „Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren“.



**Bild 5:** Methodik zur Simulation von Bevorrungsstrategien am Beispiel des Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahrens

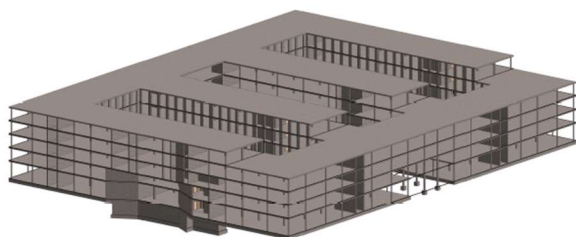
Die Methodik bzw. das Simulationsprogramm für die beiden anderen Varianten unterscheiden sich nur unwesentlich. Für die Simulationen sind je nach Verfahren zuvor die Variablen Lieferfrequenz und Liefermenge zu definieren. Nach der Definition der Parameter sind der über Dynamo gespeicherte Wert der Lagerflächenkapazität und der über Excel gespeicherte LFB im Dynamo-Skript abzufragen. Mithilfe der gespeicherten Gesamtlagerflächenkapazität (= LFB) kann die Lagerausnutzung und der Bedarf an Lieferungen für verschiedene Szenarien ausgegeben werden. Die Ergebnisse der Simulationen liegen in Dynamo als Liste vor. Die Listen werden zur Auswertung in Excel überführt. Die Auswertung der Simulation sowie die Darstellung der Lagerauslastung in Form von Diagrammen erfolgt über MS Excel.

Als Beispielgewerk wurde mit dem Trockenbau ein Ausbauwerk gewählt. In der Regel können die Freiheitsgrade Liefermenge und insbesondere die Lieferfrequenz durch die unproblematische Lagerung in einem größeren Umfang frei angepasst werden. Im Fall des Gewerks Trockenbau entspricht eine Ladeeinheit eine Palette Trockenbauplatten inklusive der notwendigen Dämmung und Unterkonstruktion, sodass die Simulation frühzeitig in der Planungsphase durchgeführt werden kann.

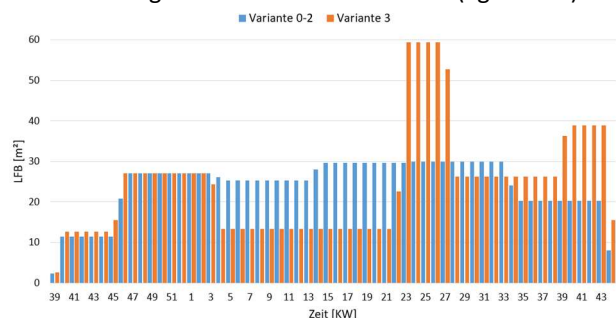
## 3 Fallstudie

Die Simulation wird für verschiedene Bevorrungsstrategien mit unterschiedlichen Variablen im Rahmen einer Fallstudie getestet. Bei dem Anwendungsbeispiel handelt es sich um ein viergeschossiges Bürogebäude mit Unterkellerung, das am Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb modelliert wurde. Das Gebäude ist in **Bild 6** dargestellt.

Alle drei Bevorrungsstrategien werden in einer Grundsimulation (V0) und drei Varianten auf die Anwendbarkeit für verschiedene Szenarien (V1-3) getestet. Für die Simulationen V0-V2 wird über den Terminplan ein relativ gleichmäßiger Materialverbrauch simuliert. In Variante 3 wird ein sehr unregelmäßiger Materialverbrauch simuliert. Je nach Kalenderwoche variiert der Wert mit einem maximalen Lagerflächenbedarf von 60 m<sup>2</sup> (vgl. **Bild 7**).



**Bild 6:** Nord-West Ansicht des Beispielprojekts



**Bild 7:** Lagerflächenbedarf (LFB) für die Varianten V0-2 und V3

Die weiteren Eingangsgrößen für die vier Simulationen sind in der nachfolgenden **Tabelle 1** dargestellt. In den Varianten 0 bis 2 liegt der Unterschied in der unterschiedlich großen Lagerkapazität. Hierdurch soll die Eignung der verschiedenen Verfahren bei unterschiedlichen Lagergrößen simuliert werden. Der Beschaffungsvorrat in den

Bestellpunkt-Verfahren wird auf die Menge des maximalen LFB pro KW festgelegt. Die Liefermenge in den Losgrößen-Verfahren sowie der Lieferrhythmus in den Bestellrhythmus-Verfahren sind iterativ zu ermitteln.

**Tabelle 1:** Eingangsgößen aller Varianten

Eingangswert	V0	V1	V2	V3
Lagerkapazität	105 m <sup>2</sup>	64 m <sup>2</sup>	34 m <sup>2</sup>	125 m <sup>2</sup>
Durchschn. LFB pro KW	25 m <sup>2</sup>	25 m <sup>2</sup>	25 m <sup>2</sup>	25 m <sup>2</sup>
Max. LFB pro KW	30 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>	59 m <sup>2</sup>
Beschaffungsvorrat	30 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>	59 m <sup>2</sup>
Liefermenge	74,43 m <sup>2</sup>	31,90 m <sup>2</sup>	A: 31,90 m <sup>2</sup> B: 24,81 m <sup>2</sup>	63,79 m <sup>2</sup>
Lieferrhythmus (in Wo)	3-wö.	2-wö.	1-wö.	2-wö.

## 4 Auswertung und Diskussion

Die Ergebnisse der drei Verfahren für alle Varianten sind in der unten dargestellten **Tabelle 2** aufgeführt und entsprechend der minimalen, maximalen und durchschnittlichen Lagerauslastung vor und nach der Lieferung sowie der durchschnittlichen Lieferfrequenz.

**Tabelle 2:** Vergleich der Ergebnisse

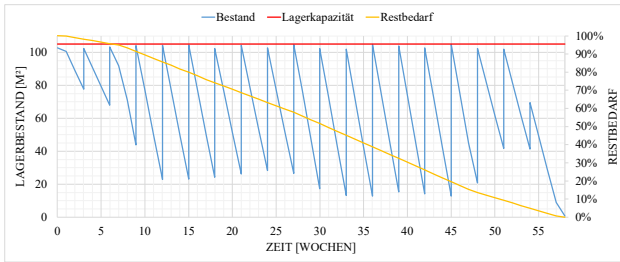
Kennwert	V	BRxBG	BPxLG	BPxBG
∅ Lagerauslastung	V0	61 %	49 %	55 %
	V1	58 %	53 %	56 %
	V2	58 %	99 %	58 %
	V3	77 %	61 %	65 %
Max. Auslastung vor Lieferung	V0	74 %	28 %	27 %
	V1	78 %	46 %	44 %
	V2	87 %	87 %	87 %
	V3	86 %	46 %	47 %
∅ Auslastung vor Lieferung	V0	28 %	15 %	18 %
	V1	21 %	28 %	16 %
	V2	23 %	54 %	23 %
	V3	60 %	37 %	33 %
Min. Auslastung vor Lieferung	V0	12 %	5 %	10 %
	V1	2 %	2 %	2 %
	V2	2 %	4 %	2 %
	V3	2 %	24 %	3 %
Max. Auslastung nach Lieferung	V0	100 %	99 %	100 %
	V1	100 %	96 %	100 %
	V2	100 %	181 %	100 %
	V3	100 %	97 %	100 %
∅ Auslastung nach Lieferung	V0	97 %	85 %	95 %
	V1	96 %	78 %	96 %
	V2	94 %	146 %	94 %
	V3	97 %	82 %	97 %
∅ Lieferfrequenz in Wochen	V0	3,1	3,1	3,5
	V1	2,0	1,3	2,2
	V2	1,0	1,3	1,0
	V3	2,0	2,7	3,5

Bei der Bewertung der Bevorratungsstrategien spielt insbesondere die Ausnutzung des gesamten Lagers und der Restbestand bei Lieferauslösung eine wichtige Rolle. Von einem Versagen der Strategie kann bei Leerlauf oder Überfüllung des Lagers gesprochen werden. Das Ziel ist ein stetiger Materialfluss ohne zu große Puffer. Die Ergebnisse sind nachfolgend in vergleichbar aufgebauten Diagrammen dargestellt: Der blaue Graph stellt den Bestand des Lagers zum Betrachtungszeitpunkt in m<sup>2</sup> dar, der rote Graph kennzeichnet die Lagerkapazität in m<sup>2</sup>, der gelbe Graph den Restbedarf in Prozent.

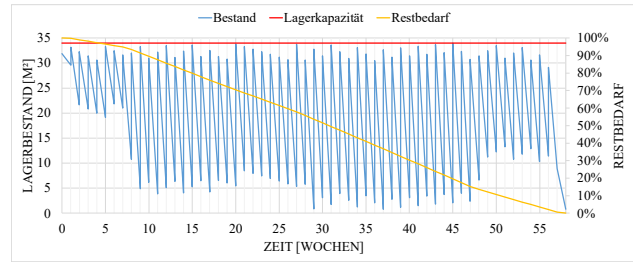
### 4.1 Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren (BR-BG)

Das Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren gibt für alle durchgeführten Varianten „erfolgreiche“ Simulationen aus. Es kann demnach sowohl für kleine als auch große Lagerkapazitäten verwendet werden. Das Verfahren zeichnet sich besonders durch die gute Ausnutzung der Lagerkapazität aus. Die durchschnittliche Lagerauslastung nach Lieferung schwankt je nach Variante zwischen 94% und 97%. Im Vergleich mit dem Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahren sind diese Werte als sehr hoch anzusehen. Demnach liegt keine Verschwendung durch ein zu groß ausgeführtes Lager vor.

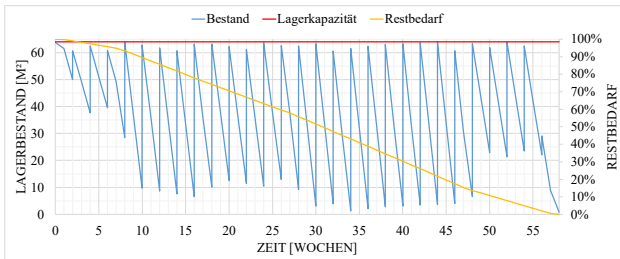




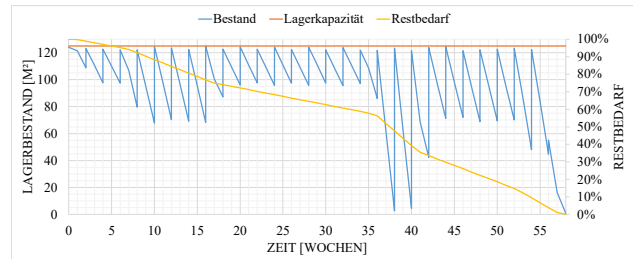
**Bild 8:** Ergebnisdiagramm des Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahrens für Variante 0



**Bild 10:** Ergebnisdiagramm des Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahrens für Variante 2



**Bild 9:** Ergebnisdiagramm des Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahrens für Variante 1



**Bild 11:** Ergebnisdiagramm des Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahrens für Variante 3

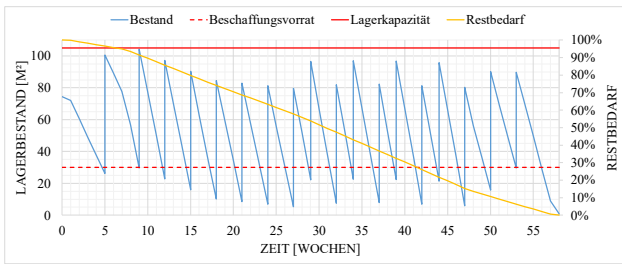
Die fehlende Abhängigkeit zwischen Lagerkapazität und Lieferrhythmus ermöglicht eine einfache Bestimmung der optimalen Lagergröße in wenigen Iterationen. Dies ist im Vergleich zwischen Variante 0 und Variante 1 zu erkennen (vgl. **Bild 8** und **Bild 9**). In Variante 0 besitzt das Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren mit 12% die größte minimale Lagerauslastung. In Variante 1 erfolgt die Festlegung der Lagerkapazität auf das Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren angepasst. Die minimale Lagerauslastung sinkt um 10% auf 2%. Durch eine geeignete Anpassung von Lieferkapazität und Lieferrhythmus auf den Verbrauch ist Verschwendung in Form von zu groß gewählten Puffern somit vergleichsweise einfach zu verringern. Je stetiger der Verbrauch ist, desto besser ist der Lieferrhythmus auf eine geringe Verschwendung hin anpassbar (vgl. **Bild 10**). Als Vorteil des Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahrens ist zudem eine Steigerung der Bestellsicherheit zu nennen. Durch die vorgegebene Lieferfrequenz kann der Baustofflieferant die Bindung von Transportkapazitäten optimal planen und die Baustelle sich entsprechend einstellen. Die einzige Variable bleibt die Liefermenge, die vor jeder Lieferung neu zu bestimmen ist.

Probleme des Verfahrens können insbesondere durch einen un stetigen Verbrauch hervorgerufen werden. Je un stetiger der Materialverbrauch ist, desto ungenauer ist der Lieferrhythmus auf den Verbrauch anpassbar. Eine Folge sind deutlich zu große Puffer. Dieser Effekt ist im Vergleich zwischen Variante 0 und Variante 3 zu erkennen (vgl. **Bild 11**).

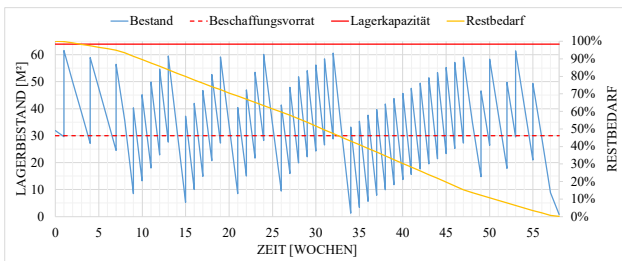
In Variante 0 mit einer Lagerkapazität von 105 m<sup>2</sup> liegt die maximale Lagerauslastung bei Lieferung bei 74%. Der leicht un stetige Verbrauch sorgt somit für eine große Verschwendung in Form von Puffern. In den beiden Bestellpunkt-Verfahren liegt dieser Wert mit 28% bzw. 27% deutlich unter den Ergebnissen des Bestellrhythmus-Verfahrens. Die maximale Lagerauslastung vor Lieferung erhöht sich in dieser Variante um weitere 13% auf 87%. Der maximale Puffer der beiden Bestellpunkt-Verfahren ist mit 46% bzw. 47% der Lagerkapazität weiterhin deutlich geringer. Im Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren ist demnach mit einer verstärkten Verschwendung durch vergleichsweise große Puffer zu rechnen.

## 4.2 Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahren (BP-LG)

Das Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahren zeichnet sich im Gegensatz zum Bestellrhythmus-Bestellpunkt-Verfahren insbesondere in den ersten beiden Varianten durch eine gute Ausnutzung des unteren Lagerkapazitätsbereichs aus. Die durchschnittliche Lagerauslastung vor Lieferung liegt mit 15% in Variante 0 und 28% in Variante 1 im niedrigen Bereich (vgl. **Bild 12** und **Bild 13**). Die minimale Lagerauslastung stellt mit 5% und 2% den geringsten Wert aller drei Verfahren dar. Die Werte sprechen für einen geringen Grad an Verschwendung durch geeignete Einschätzung von Beschaffungsvorrat und Liefermenge. Zudem zeugen die Ergebnisse von einer guten Reaktion des Verfahrens auf geringfügig un stetige Verbrauchswerte. Die Festlegung einer Liefermenge sorgt zudem für eine zusätzliche Sicherheit auf Seiten des Lieferanten. Dieser kann die Lieferungen bereits vor Anfrage durch die Baustelle fertig kommissionieren. Bei erfolgter Lieferauslösung erfolgt lediglich die Beladung und Lieferung zur Baustelle.



**Bild 12:** Ergebnisdiagramm des Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahrens für Variante 0



**Bild 13:** Ergebnisdiagramm des Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahrens für Variante 1

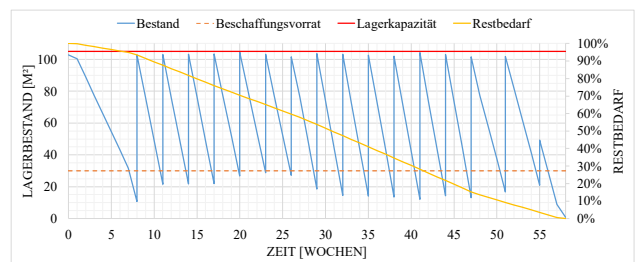
Probleme im Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahren sind insbesondere bei kleinen Lagerkapazitäten zu erkennen. Bei zu geringen Lagerkapazitäten ist eine erfolgreiche Simulation nicht möglich. Dieses Phänomen ist in Variante 2 zu erkennen (vgl. **Tabelle 2**). Durch die zu geringe Differenz zwischen Lagerkapazität und Beschaffungsvorrat ist die Bestimmung einer passenden Liefermenge über die gesamte Bauzeit nicht möglich. Wird der durchschnittliche, wöchentliche Verbrauch als Liefermenge angesetzt, kommt es in Variante 2 zu einer Überfüllung des Lagers. Die maximale Lagerauslastung liegt in diesem Beispiel bei 181%

Unstetiger Verbrauch macht sich im Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahren durch Vergrößerung der Puffer bemerkbar. In den Varianten 0 und 1 wurde eine geringe Lagerauslastung vor Lieferung hervorgehoben. Die durchschnittliche Lagerauslastung vor Lieferung in Variante 3 steigt auf 37%. Die minimale Lagerauslastung vor Lieferung steigt auf 24% an. Der unstetige Verbrauch sorgt für einen vergleichsweise großen Beschaffungsvorrat von 59 m<sup>2</sup> bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 25 m<sup>2</sup>. Hierdurch vergrößert sich die Verschwendung in Form von zu großen Puffern. Zudem unterstreicht das Beispiel die schwierige Abschätzung eines geeigneten Beschaffungsvorrats. Neben dem hohen Grad an Verschwendung bei stark unstetigem Verbrauch ist zusätzlich die Verschwendung durch Nichtausnutzung der Lagerkapazität zu nennen. In den beiden Bestellgrenzen-Verfahren liegt die maximale Lagerauslastung jeweils bei 100%. Die durchschnittliche Lagerauslastung nach Lieferung liegt in beiden Verfahren mindestens bei 94%. Es kann demnach von einer regelmäßigen vollständigen Ausnutzung der Lagerkapazität gesprochen werden. Im Losgrößen-Verfahren weist die maximalen Lagerauslastung in den erfolgreichen Simulationen mit 96% bis 99% ebenfalls eine hohe Auslastung auf. Die

durchschnittliche Auslastung nach Lieferung liegt mit 78% in Variante 1 und bis 85% in Variante 0 jedoch bis zu 16% unterhalb der Ergebnisse der Bestellgrenzen-Verfahren. Der geringe Wert zeugt von unregelmäßigen Auslastungsspitzen im Lager. Über weite Phasen der Simulation ist die Lagerkapazität größer als erforderlich ausgelegt, was für eine Verschwendung der auf dem Baustellengelände begrenzten Ressource „Platz“ spricht.

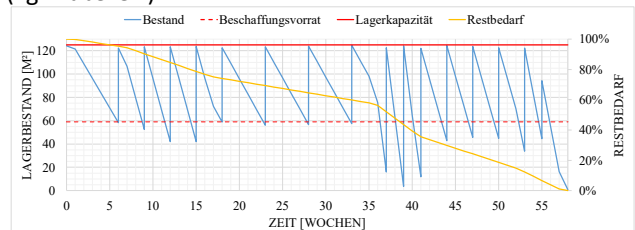
### 4.3 Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahren (BP-BG)

Im Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahren sind alle Simulationen erfolgreich. Dies zeugt zunächst von einer guten Eignung für alle getesteten Szenarien. Darüber hinaus ist über alle Varianten eine gute Ausnutzung der gesamten Lagerkapazität zu erkennen. Die durchschnittliche Lagerauslastung nach Lieferung liegt mit 94% bis 97% sehr hoch. Gleichzeitig liegt die durchschnittliche Lagerauslastung bei Lieferung mit 16% bei leicht unstetigem bis maximal 33% bei stark unstetigem Verbrauch sehr niedrig. In den beiden weiteren Verfahren ist eine gute Ausnutzung der oberen und unteren Lagerbeschränkung gleichzeitig nicht möglich. Hierdurch liegt in beiden Verfahren ein erhöhter Grad an Verschwendung vor. Im Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahren ist eine Verschwendung in diesem Ausmaß nicht zu erkennen.



**Bild 14:** Ergebnisdiagramm des Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahrens für Variante 0

Das Verfahren zeichnet sich zusätzlich durch eine gute Reaktion auf einen unstetigen Materialverbrauch aus. Dies ist besonders in der durchschnittlichen Lieferfrequenz zu erkennen. Von Variante 0 bis Variante 2 nimmt die Frequenz in Wochen pro Lieferung von 3,5 über 2,2 auf 1,0 ab (vgl. **Tabelle 2**).



**Bild 15:** Ergebnisdiagramm des Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahrens für Variante 3

Ohne Berücksichtigung der fehlgeschlagenen Simulation des Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahrens in Variante 2 liegen alle Werte gleich oder oberhalb der Ergebnisse der

anderen Verfahren. Die seltenere Lieferung zeugt von einer besseren Anpassung der Lieferungen auf den tatsächlichen Verbrauch. Auch in Variante 3 liegt die Frequenz des Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahrens mit einer Lieferung alle 3,5 Wochen oberhalb der beiden weiteren Verfahren (vgl. Bild 15). Somit wird die Verschwendung durch zu frühe und schlecht ausgelastete Lieferungen reduziert.

Als Nachteil des Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahrens ist die schwierige Festlegung von Lagerkapazität und Beschaffungsvorrat zu nennen. Die Ermittlung von Liefermenge und -zeitpunkt erzeugt einen zusätzlichen Iterationsaufwand, weil der Benutzer die Einflüsse der Abhängigkeiten nicht direkt einschätzen kann. Somit sind für die Ermittlung der optimalen Lagerkapazität ggf. mehr Iterationsschritte notwendig, als bei den Bevorrungsstrategien mit nur einer Variable. Als Nachteil kann zudem die geringere Sicherheit angeführt werden. Sowohl Lieferzeitpunkt als auch Liefermenge stehen erst bei Bestellung durch die Baustelle fest. Dies birgt das Risiko einer Liefermengenunterschreitung oder Lieferterminverzögerung. Um eine Unterversorgung der Baustelle zu vermeiden, ist ein Informationsaustausch zwischen Baustelle und Lieferant über die Ergebnisse der Simulation unerlässlich. Dieser Informationsaustausch bietet gleichzeitig die Möglichkeit der Reduzierung von Verschwendung in der gesamten Lieferkette.

## 5 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurde eine Methodik vorgestellt, die eine Simulation unterschiedlicher Bevorrungsstrategien ermöglicht. Diese können zukünftig helfen, projektspezifisch eine geeignete Bevorrungsstrategie in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Lagerfläche zu wählen, um den Ressourcenverbrauch vor Ort und die hierfür notwendigen Anlieferungen und Entsorgungstransporte möglichst effizient aufeinander abzustimmen. Für die Simulation der Bevorrungsstrategien wurde zunächst ein 4D-Modell mit zusätzlichen baulegistischen (und materialspezifischen) Informationen angereichert. In einem eigen entwickelten Programmierskript wurden die Lieferfrequenz, die Liefermenge und die Lagerkapazität als Freiheitsgrade definiert und im Rahmen einer Simulation für verschiedene Bevorrungsstrategien am Beispiel des Trockenbaugewerks ausgewertet. Aus den Ergebnissen konnten die Lagerflächenauslastungen für die entsprechende Bevorrungsstrategie abgeleitet werden, um geeignete Anlieferstrategien zu entwickeln.

Das Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren scheint besonders geeignet für einen stetigen bis leicht unstetigen Verbrauch. Je stetiger der Verbrauch war, desto besser konnte der Lieferrhythmus auf den Materialverbrauch angepasst werden. Deshalb eignet sich das Verfahren für die Belieferung von Baustellen mit stetigem Materialverbrauch.

Das Bestellpunkt-Losgrößen-Verfahren besitzt keine Eignung bei kleinen Lagerkapazitäten. Insbesondere bei unzeitigem Materialverbrauch war eine erfolgreiche Simulation nicht möglich. Eine Anwendung des Verfahrens für Baustellen mit kleinen Lagerkapazitäten ist aus diesem Grund ausgeschlossen. Besser geeignet ist das Verfahren für die Belieferung von Construction Logistic Centres (CLC), die i.d.R. über größere Lagerkapazitäten verfügen.

Das Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahren ist theoretisch für alle Lagerkapazitäten und Verbrauchsstetigkeiten geeignet. Hierdurch bietet sich das Verfahren auch als Grundlage für eine Just-in-Time-Strategie an. Es ist jedoch auf den höheren Iterationsaufwand durch zwei Variablen hinzuweisen. Aus diesem Grund kann die Wahl des Verfahrens bei stetigem Verbrauch auf das Bestellrhythmus-Bestellgrenzen-Verfahren fallen. Dieses bildet bei stetigem Verbrauch ähnlich gute Ergebnisse wie das Bestellpunkt-Bestellgrenzen-Verfahren und ist dabei einfacher auf ein Optimum anzupassen.

Die Methodik verdeutlicht das Potenzial der in BIM-Modellen enthaltenen Informationen für eine Baulegistikplanung und die Anwendung von Simulationen zur Erstellung von Bevorrungsstrategien. Sie bedient jedoch nur einen Teilbereich. Um die Vielfalt der Möglichkeiten von Simulationen für alle Bereiche der Baulegistikplanung zu erkennen, ist noch weiterer Forschungsbedarf notwendig.

## 6 Hinweis

Dieser Beitrag basiert auf den Ergebnissen einer am IBB verfassten Masterarbeit: Middelhoff, N.: Simulation von Bevorrungsstrategien im Ausbau als Teil einer modellbasierten Baulegistikplanung nach LEAN-Prinzipien (unveröffentlicht). Braunschweig, 2022.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Blecken, U.; Boenert, L.; Blömeke, M. (2001) *Studie zur Akzeptanz einer Dienstleistung Logistik in der Bauindustrie*. Dortmund.
- [2] Boenert, L.; Blömeke, M. (2003) *Logistikkonzepte im Schlüsselfertigbau zur Erhöhung der Kostenführerschaft* in: Bauingenieur, S. 277–283.
- [3] Denzer, M.; Odemer, S.; Schwarzwälder, H. (2022) *Untersuchung des baulegistischen Zeitanteils in der Bauausführung und dessen Einfluss auf die Kalkulation* in: Bauwirtschaft 7, H. 1, S. 12–20.
- [4] Voigtmann, J. K.; Bargstädt, H.-J. (2008) *Simulation von Baulegistikprozessen im Ausbau* in: Rabe, M. [Hrsg.] *Advances in simulation for production and logistics applications: Tagungsband zur 13. Fachtagung*. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., S. 131–140.

- [5] Girmscheid, G. (2015) *Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus*. 7. Aufl. Zürich: Eigenverlag des IBI an der ETH Zürich.
- [6] Placzek, G. et al. (2021) *Frühzeitige Erstellung von Baulogistikkonzepten - Chancen und Herausforderungen einer BIM-basierten Baulogistikplanung* in: Bargstädt, H.-J. [Hrsg.] *Die Zukunft des Bauens heute gestalten: 6. Internationaler BBB-Kongress*. Ilmtal-Weinstraße: Bauhaus-Universitätsverlag Weimar.
- [7] Weber, J. (2007) *Simulation von Logistikprozessen auf Baustellen auf Basis von 3D-CAD Daten* [Dissertationsschrift]. Universität Dortmund.
- [8] Wiendahl, H.-H. (2011) *Auftragsmanagement der industriellen Produktion – Grundlagen, Konfiguration, Einführung*. Heidelberg, Dordrecht: Springer.
- [9] Scheer, A.-W. et al. [Hrsg.] (2005) *Prozessorientiertes Product Lifecycle Management (German Edition)*. Dordrecht: Springer.
- [10] Placzek, G.; Barking, L.; Schwerdtner, P. (2022) *Entwicklung eines Level-of-Logistics-Konzepts zur Beschreibung des Fachmodells "Baulogistik"* in: *Bauwirtschaft* 7, H. 1, S. 1–11.
- [11] Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, TU Braunschweig (21.08.2023) *Solving the Last Mile Delivery Challenge: Modellbasierte Baulogistikplanung nach LEAN-Prinzipien* [online]. <https://www.tu-braunschweig.de/ibb/forschung/lmdc> [Zugriff am: 21. Aug. 2023].
- [12] Hellingrath, B.; Keller, M.; Witthaut, M. (2004) *Klassifizierung von Dispositionsstrategien großer Logistiknetze*.
- [13] Kistner, K.-P.; Steven, M. (2001) *Produktionsplanung*. Heidelberg, s.l.: Physica-Verlag HD.

# Konzeption eines Projektbeteiligten-Feedbacksystems zur Verbesserung der menschlichen Leistungserbringung bei der Bauprojektentwicklung

## Conceptual design of a project participant feedback system to improve human performance in construction project delivery

Paul Christian John, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, 76131 Karlsruhe, christian.john@kit.edu

Marcel Max Weissinger, Universität Stuttgart, Institut für Baubetriebslehre, 70569 Stuttgart, marcel.weissinger@ibl.uni-stuttgart.de

### Kurzfassung

Die Abwicklung eines Bauprojekts ist ein personalintensives Vorhaben. Entsprechend hat die menschliche Leistungserbringung einen maßgebenden Einfluss auf den Projekterfolg, der jedoch unter anderem deswegen häufig nicht vollständig erreicht wird. Um den Faktor der menschlichen Leistungserbringung zu stabilisieren bzw. zu verbessern, schlagen wir ein Projektbeteiligten-Feedbacksystem (PFS) vor. Mit dessen Hilfe sollen Projektbeteiligte dem Bauherrn mitteilen, was den Prozess ihrer Leistungserbringung einschränkt und wodurch dieser optimiert werden könnte. Einerseits werden hierdurch Potenziale auf der oftmals zu wenig beachteten sozialen Ebene identifiziert, andererseits hat die direkte Einbeziehung der Beteiligten in die Gestaltung ihrer Leistungsbedingungen einen positiven Einfluss auf das Engagement der Leistungserbringung. Entscheidende Elemente des PFS sind die Stellungnahmeverpflichtung des Bauherrn zu jedem Feedback und der Follow-up-Prozess zu Maßnahmen aus identifizierten Potenzialen. Dadurch werden Transparenz und Mitgestaltung sichergestellt sowie der wirtschaftliche Nutzen des Systems für das Projekt im Blick behalten.

### Abstract

The delivery of a construction project is a workforce-intensive endeavour. Therefore, the human performance has a significant influence on the success of the project. This is one of the reasons why success is often not fully achieved. In order to stabilise as well as improve the human performance factor, we propose a Project Participant Feedback System (PFS). With the help of this system, project participants should inform the client about what limits the delivery of their work and how this might be optimised. On the one hand, this helps to identify potential on a social level, which is often neglected, and on the other hand, the direct involvement of the participants in the design of their working conditions has a positive influence on the commitment towards the work performance itself. Decisive elements of the PFS are the client's obligation to take a statement on every given feedback, and the follow-up process on actions resulting from identified potentials. This ensures transparency and participation as well as ensuring that the economic benefits of the system for the project can be monitored.

## 1 Einleitung

Bauherren streben stets eine erfolgreiche Abwicklung ihrer Bauvorhaben an. Bauvorhaben dienen in erster Linie einem gemeinwohlorientierten oder organisationswirtschaftlichen Zweck. Beispielsweise wird durch den Bau neuer Büroräumlichkeiten ein personelles Wachstum des Unternehmens ermöglicht, wodurch eine langfristige Gewinnmaximierung bzw. der Erhalt der Geschäftstätigkeit angestrebt wird. Mit der erfolgreichen Abwicklung eines Bauvorhabens soll insbesondere das Erreichen des eigentlichen Projektzwecks herbeigeführt und nicht bereits im Vorfeld gefährdet werden. Darüber hinaus kann eine nicht erfolgreiche Projektentwicklung aufgrund des üblicherweise hohen Investitionsvolumens bei Bauvorhaben dazu führen, dass

der Bauherrenorganisation ein großer wirtschaftlicher Schaden entsteht [26, S. 8–10; 4, S. 225 f.; 25, S. 42–45].

In der Praxis kann beobachtet werden, dass viele Bauvorhaben hinsichtlich der anfänglich formulierten Abwicklungsziele nicht erfolgreich fertiggestellt werden. Es entstehen zum Teil hohe Kostenüberschreitungen und erhebliche Terminverzögerungen. In der Literatur finden sich inzwischen viele Erklärungsansätze für dieses Phänomen. Ein großer Anteil der Ursachen ist grundsätzlich auf folgende Gemeinsamkeiten zurückzuführen: *Faktor Mensch* bzw. die *individuelle sowie kollektive Leistungserbringung der Projektbeteiligten* [u. a. 21; 8, S. 279].

Die Abwicklung von Bauprojekten ist generell ein personalintensives Vorhaben. Eine Vielzahl an Beteiligten aus

DOI: 10.17185/dupublico/79113



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 Lizenz (CC BY 4.0)

verschiedenen Unternehmen und Fachgebieten arbeitet über unterschiedlich lange Zeiträume in immer wieder neu zusammengesetzten Konstellationen miteinander [8, S. 279]. Daher haben sowohl die individuelle als auch die kollektive Leistungserbringung der Projektbeteiligten einen maßgeblichen Einfluss auf den Abwicklungserfolg.

Es gehört zu den Kernaufgaben eines Managements, eine möglichst effiziente und effektive Leistungserbringung der Beteiligten sicherzustellen [5, S. 41]. Im Kontext unternehmensübergreifender Projekte wird ein Teil dieser Managementaufgabe von den jeweiligen Unternehmen auf das bauherrenseitige Projektmanagement übertragen. Dieses verantwortet in erster Linie die Gestaltung der temporären Projektorganisation und hat großen Einfluss auf die Projektkultur hat [u. a. 10, S. 185].

Bezogen auf eine Optimierung der menschlichen Leistungserbringung betonte DRUCKER [5, S. 41] bereits in den 1970er-Jahren, dass nicht nur die Arbeit selbst zu organisieren ist (*sachliche Ebene*), sondern vor allem eine adäquate Abstimmung von Mensch und Arbeitsaufgabe hergestellt und die Aktivierung der Arbeitskräfte adressiert werden muss (*soziale Ebene*). Außerdem hat jede Arbeitskraft zahlreiche individuelle (bewusste und unbewusste) Anforderungen an ihre Arbeitsbedingungen. Deren jeweils wahrgenommener Erfüllungsgrad entscheidet grundsätzlich darüber, ob, wie viel und wie gut die geforderte Leistung erbracht wird.

Werden die Erfahrungen bei der Abwicklung von Bauvorhaben gegenübergestellt, fällt auf, dass insbesondere diese soziale Ebene der Leistungserbringung vernachlässigt wird. Gründe können u. a. die fehlende Verfügbarkeit geeigneter Ansätze, das mangelnde Bewusstsein dafür und die unklaren Zuständigkeiten<sup>1</sup> diesbezüglich sein [2, S. 15]. Da die Förderung und Aktivierung des *Faktor Mensch* im Hinblick auf die Leistungserbringung einen positiven Effekt versprechen und ein wesentlicher Beitrag zur Herbeiführung des Projekterfolgs geleistet werden kann, haben wir dieses Thema für den vorliegenden Beitrag näher untersucht.

Dabei ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass diese sozialen Anforderungen der Beteiligten bis zu einem gewissen Grad projektabhängig sind. Sie werden von der personellen Zusammensetzung und den individuellen Bedürfnissen der Beteiligten bestimmt. Aus diesem Grund haben wir einen Ansatz entwickelt, der das oftmals nicht bewusste bzw. beachtete Potenzial für eine Optimierung der menschlichen Leistungserbringung bei Bauvorhaben offenlegen soll: Ein **Projektbeteiligten-Feedbacksystem** (PFS).

Mithilfe des PFS können entsprechende soziale (und sachliche) Missstände sowie darüber hinausgehende Verbesserungspotenziale im Kontext der Projektabwicklung durch den Bauherrn bzw. das bauherrenseitige Projektmanagement (wird nachfolgend synonym verwendet) identifiziert und dadurch überhaupt erst konkret adressiert werden. Das PFS kann durch die aktive Einbeziehung

der Projektbeteiligten in die Gestaltung ihrer Arbeitsbedingungen zu einer Verstärkung des Engagements bei der Leistungserbringung führen. Diese Annahme begründet sich durch die Organizational Support Theory [19; 2, S. 22; 17, S. 188–191].

Für die Entwicklung unserer Lösung sind wir nach dem ‚Design Science Research‘-Ansatz gemäß STANGE et al. [24] vorgegangen. Dieses Vorgehen gewährleistet durch seine praktische Problemlösungsfokussierung sowohl eine theoretisch-wissenschaftliche Fundierung als auch eine praktische Relevanz und Anwendbarkeit.

Nachfolgend werden in Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen aufgeführt und verwandte Konzepte aus anderen Wirtschaftsbereichen vorgestellt. Weiterhin wird deren Wirkungsweise im Kontext der Verbesserung des jeweiligen Systems diskutiert. In Kapitel 3 wird die der Systementwicklung zugrundeliegende Methodik erläutert und in Kapitel 4 das entwickelte Konzept des PFS vorgestellt. In Kapitel 5 erfolgt eine zusammenfassende Schlussbetrachtung sowie ein Ausblick auf weiterführende Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten.

## 2 Theoretische Grundlagen und verwandte Konzepte

Feedback im Kontext von Organisationen wird als organisationales Feedback bezeichnet. Es lässt sich systemtheoretisch als eine Informationsrückkopplung von einem Feedbackgeber an einen Feedbackempfänger definieren. Bezugsgegenstand der Rückkopplung ist ein vom Empfänger generierter Output bzw. eine von diesem generierte Wirkung. Die Informationsrückkopplung wird bei einer systematischen Erhebung in der Regel genutzt, um den output- bzw. wirkungsgenerierenden Prozess im Falle einer Zielabweichung entsprechend zu regulieren (= zu verbessern) [2, S. 6 f.].

Der Prozess von der proaktiv-systematischen Abfrage einer derartigen Informationsrückkopplung bis hin zur Auswertung wird auch als Feedbackschleife bezeichnet. Diese dient im betriebswirtschaftlichen Kontext meist als Grundlage für eine Abweichungskorrektur oder eine Optimierung des Ist-Zustandes und damit einer Effizienzsteigerung und Funktionssicherung des jeweiligen Systems. Alternativ wird die Feedbackschleife auch für die Herstellung von Transparenz zur Sicherung einer fundierten Entscheidungsgrundlage genutzt [2, S. 6]. BUNGARD [2, S. 5 u. 21] wirbt diesbezüglich für die Relevanz einer organisationalen Feedbackorientierung und schreibt hierzu, dass Organisationen ohne funktionierende Systeme für Feedback in der heutigen Marktwirtschaft mittelfristig nicht mehr bzw. nur begrenzt überlebensfähig sind.

Organisationales Feedback wird grundsätzlich in fünf Perspektiven unterschieden – je nach Verhältnis von

<sup>1</sup> u. a. durch den Projekt-Linien-Konflikt



S. 175 f.]. Durch die EU-Richtlinie 2019/1937 (Schutz für Whistleblower) müssen in Deutschland Unternehmen ab 50 Mitarbeitern seit 2021 eine Meldestelle vorhalten. Diese wird bspw. in Form eines Beschwerdebriefkastens realisiert. Damit sollen unter anderem sicherheitsrelevante Bedenken oder ethische Probleme direkt geäußert werden können. Zudem können anonym Anregungen, Wünsche und sonstiges Feedback abgegeben werden [7]. In der Praxis ist dieses sogenannte betriebliche Vorschlagswesen jedoch eher selten.

Im Kontext von Projekten werden gelegentlich die Abwicklungserfahrungen nach Abschluss unternehmensintern durch sogenannte Projekt-Reviews erhoben, um Folgeprojekte besser zu bearbeiten. Auch während der Abwicklung von Projekten sind erste Ansätze vorhanden, die sich mit der Feedbacksystematik befassen. Dies wird in Scrum bspw. über den Prozessschritt *Sprint Retrospective* gewährleistet. Das operative Team reflektiert gemeinsam einen definierten Zeitabschnitt und erörtert, welche Maßnahmen die Arbeitsleistung verbessern könnten [23, S. 10 f.]. Auch bei der Anwendung von Lean Management im Projektkontext wird das Prinzip der kontinuierlichen Verbesserung (siehe auch Kaizen) teilweise durch das Einholen von operativem Feedback umgesetzt. LIKER beschreibt Toyota (den Ursprung des Lean Managements) als lernende Organisation, die sich durch ein Unternehmensklima der Offenheit und Lernbereitschaft sowie durch eine starke Einbeziehung der Mitarbeiter auszeichnet [20, S. 25–27]. Auch das Kollaborationsbarometer von HAGSHENO et al. [11] lässt sich dem Lean Management zuordnen. Dabei wird zu festgelegten Zeitpunkten Feedback von Projektbeteiligten zum Ist-Zustand der projektinternen Kollaboration eingefordert, um diese bei Zielabweichung korrigieren zu können.

Zusammenfassend wird das Upward-Feedback typischerweise retrospektiv und proaktiv eingeholt. Bedarfsbefragungen im Vorhinein und Echtzeitbefragungen sind eher selten. Auch eine offene Feedbackkultur, bei der Feedback situationsbedingt und durch die Eigeninitiative der Betroffenen übermittelt wird, ist kein Regelfall. Üblich ist eine explizite Befragung in der Produkt- bzw. Prozessnutzungsphase, seltener während der Produkt- bzw. Prozessentwicklungsphase. Gegenstand dieses Feedbacks sind eher sachliche Aspekte und nur teilweise soziale Belange. Das Ziel des Feedbacks ist hauptsächlich eine Evaluierung. Das Abfragen von kreativen Ideen zur Weiterentwicklung des Betrachtungsgegenstandes ist kaum vorzufinden. Auch eine Rückmeldung im Nachgang der Befragung an die Feedbackgeber zu angestoßenen Veränderungs- bzw. Anpassungsmaßnahmen findet wenig bis nicht statt. Aus vielen Gesprächen sowie aus eigener Erfahrung im betrieblichen Kontext merken wir zusätzlich an, dass Feedback zu

Optimierungspotenzialen oftmals (implizit) auf informellem und unsystematischem Wege durch einfache Gespräche übermittelt wird. Die Qualität und Quantität dieses Feedbacks sind aufgrund der angesprochenen individuell-psychologisch feedbackvermeidenden Dynamik jedoch kritisch zu betrachten.

Aufgrund des zunehmenden Bewusstseins für die Relevanz der Einbeziehung externer und interner Kunden erfährt Upward-Feedback seit einiger Zeit mehr Aufmerksamkeit im Unternehmenskontext. BUNGARD [3, S. 175-177] schätzt, dass ca. 80 % aller großen Unternehmen (permanente Organisationen) ihre Mitarbeiter (interne Kunden) zumindest hin und wieder befragen. Bei mehrjährigen Projekten (temporäre Organisationen), wie z. B. Bauvorhaben, findet eine derartige Anwendung jedoch bislang nicht statt. Vor dem Hintergrund des großen Bedarfs, u. a. aufgrund der hohen Konflikthanfälligkeit von Bauprojekten, ist dies kritisch zu hinterfragen. Hierfür haben wir das nachfolgend vorgestellte PFS entwickelt.

### 3 Methodik

Für die Entwicklung des Projektbeteiligten-Feedbacksystems (PFS) sind wir gemäß dem Prozess für eine partielle<sup>6</sup> Artefaktgestaltung nach STANGE et al. [24] vorgegangen. Dieser Prozess beruht auf dem ‚Design Science Research‘-Ansatz (DSR). Im Rahmen des DSR-Ansatzes werden auf eine systematische und wissenschaftlich fundierte Art und Weise sogenannte *Artefakte*<sup>7</sup> für eine reale Umgebung entwickelt. Diese haben das Ziel, konkrete und relevante Probleme zu lösen bzw. Bedürfnisse zu erfüllen. DSR wird daher auch als Problemlösungsansatz bezeichnet [14; 16, S. 1].

Ein derartig dynamisches Vorgehen sollte nach Meinung renommierter Wissenschaftler intensiver für die (Projektmanagement-)Forschung genutzt werden, um einen konkret anwendbaren Beitrag zur Lösung von Praxisproblemen zu erstellen [u. a. 24, S. 2]. Das Vorgehen des DSR-Ansatzes zeichnet sich durch einen iterativen Prozess in der Gestaltung und dadurch eine enge Verknüpfung von Theorie und Praxis aus [16, S. 1]. HEVNER [13], ein Pionier in diesem Forschungsfeld der DSR, definierte hierfür drei Forschungszyklen. Diese sollen die Anwendbarkeit des Artefakts im entsprechenden Praxisumfeld sicherstellen und einen Nutzen gewährleisten: Relevanzzyklus (*relevance cycle*), Sorgfaltszyklus (*rigor cycle*) und Gestaltungszyklus (*design cycle*).

Über den Relevanzzyklus werden der Kontext aus der realen Umgebung des identifizierten Problems und relevante Rahmenbedingungen in den Gestaltungsprozess des Artefakts integriert. Indem sämtliche der Gestaltung zugrunde

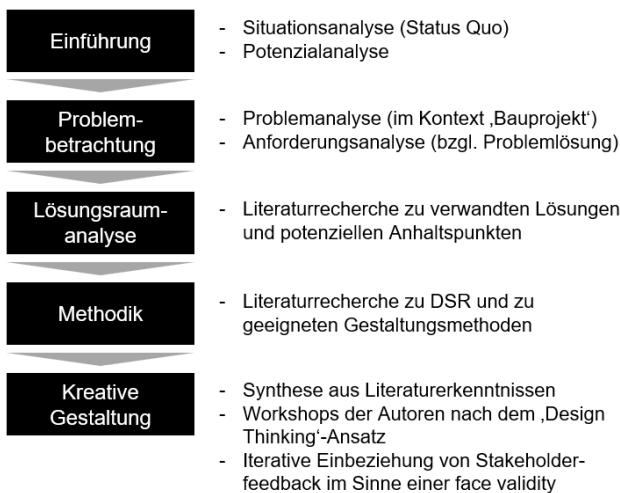
<sup>6</sup> Die Autoren unterscheiden zwischen einem partiellen und einem vollen Design und weisen darauf hin, dass es in den Managementwissenschaften bei konzeptionellen Beiträgen oftmals üblich ist, das partielle Design zu nutzen [24, S. 5].

<sup>7</sup> Ein Artefakt ist ein künstliches Objekt, das Beteiligte bei der Lösung eines Problems unterstützen soll – es kann die Form von einer Methode, einer Leitlinie, eines Modells etc. haben [16, S. 3].



gelegten Aspekte aus der bestehenden Wissenschaftsliteratur abgeleitet werden, wird über den Sorgfaltszyklus die wissenschaftliche Fundierung sichergestellt. Das Verständnis eines Zyklus wird dadurch erzeugt, dass das fertige Artefakt einerseits in der realen Umgebung konkrete Anwendung erfahren soll und andererseits neu generiertes Wissen zur Literatur beisteuert. Im Gestaltungszyklus wird das Artefakt entwickelt und anschließend evaluiert. Dieser Vorgang wiederholt sich üblicherweise mehrmals, sodass gewonnene Erkenntnisse aus der Evaluation in das Artefakt einfließen [14, S. 80; 13, S. 88].

Der partielle Artefaktgestaltungsprozess nach STANGE et al. [24, S. 6] integriert diese Zyklen in einen Forschungsprozess. **Bild 2** fasst unser Forschungsdesign in Anlehnung hieran zusammen. Von einer detaillierteren Beschreibung der einzelnen Schritte haben wir aufgrund der vorgegebenen Seitenbegrenzung des Beitrags zu Gunsten der Ergebnisdarstellung abgesehen.



**Bild 2** Forschungsdesign des PFS

Das entwickelte PFS ist ein partielles Design und entspricht einem konzeptionellen Lösungsvorschlag. Dieser wurde im iterativen Gestaltungsprozess (*Creative Leap*) augenscheinlich (*face validity* bzw. *proof-of-concept*) durch Gespräche mit insgesamt acht Projektbeteiligten aus verschiedenen Bereichen des Bauwesens evaluiert.

## 4 Konzeption des Projektbeteiligten-Feedbacksystems (PFS)

### Zugrundeliegende Annahmen des PFS

Das PFS wird durch das bauherrenseitige Projektmanagement eingeführt und federführend moderiert, um hierdurch Optimierungspotenziale für die Gestaltung der Arbeitsbedingungen im Projekt zu identifizieren. Diese Optimierungspotenziale können in zwei Gruppen unterteilt werden: in die Auflösung von Aspekten, die Beteiligte davon abhalten, ihre normale Leistung zu erbringen (*Hemmnisse*) sowie in Aspekte, die die Leistung über das normale Maß hinaus erweitern könnten (*Verbesserungsideen*).

Beiden Gruppen liegt die Annahme zugrunde, dass Mensch und Umgebung bzw. Mensch und Organisation optimal zusammen passen können. Diese Annahmen werden durch die *Person-Environment-Fit-Theory* nach EDWARDS et al. [6] bzw. die daraus abgeleitete *Person-Organisation-Fit-Theory* nach KRISTOF [18] gestützt. Dass das PFS projektbeteiligte auf Anklang stößt, begründet sich durch die *Job-Demands-Resources-Theory* nach BAKKER und DEMEROUTI [1]. Demnach sind Beteiligte im Sinne einer aktiven Mitgestaltung für den eigenen Nutzen grundsätzlich bereit, ihr Wissen einzubringen (sofern hierbei keine psychologisch hemmenden Aspekte vorliegen – siehe Kap. 2).

### Beschreibung des PFS

Gemäß JOHANNESSON und PERJONS [16, S. 14 f.] wurden der Beschreibung des Artefakts (PFS) nachfolgend fünf Kategorien zugrunde gelegt:

**1. Rahmenbedingungen:** Der zentrale Gegenstand des PFS ist das Feedback. Das Feedback kann im Laufe der Projektabwicklung von allen Projektbeteiligten eines Projekts abgegeben werden. Empfänger des Feedbacks ist der Bauherr. Inhalt des Feedbacks sollen Aspekte sein, die sowohl mit dem Projekt als auch mit der eigenen Leistungserbringung in Zusammenhang stehen. Damit wird insbesondere die Wahrnehmung der eigenen Arbeitsbedingungen, der Arbeitsatmosphäre sowie der Arbeitsabläufe adressiert.

**2. Struktur:** Das PFS besteht aus fünf Phasen (siehe **Bild 3**). Jede Phase wird charakterisiert über ihre Funktion, ein zugrundeliegendes Tool für die Nutzung, eine Methodik und eine entsprechende Kommunikation (nähere Beschreibung der Phasencharakteristika unter 5.).

**3. Funktionen:** Die übergeordnete Funktion des PFS ist die Verbesserung der Leistungserbringung von den Projektbeteiligten. Das soll dadurch erreicht werden, dass die Projektbeteiligten ihre Arbeitsbedingungen und die Arbeitsabläufe entsprechend indirekt über die Abgabe von Feedback produktivitätsorientiert mitgestalten können. Die Leistungsbereitschaft der Projektbeteiligten nimmt durch die motivierende Wirkung aus der Möglichkeit zur Mitgestaltung sowie durch die Verbesserung der Arbeitsbedingungen und Arbeitsabläufe zu. In Kombination kann dies zu einer verbesserten Leistungserbringung führen.

Phasenspezifisch hat das PFS folgende Funktionen: **Phase A** identifiziert Hemmnisse und Verbesserungsideen. **Phase B** sorgt für ein Verständnis der Projektbeteiligten-Belange und generiert Lösungsmöglichkeiten hierfür. **Phase C** kommuniziert diesen Lösungsvorschlag an die Projektbeteiligten und stellt ihn zur Diskussion. In **Phase D** wird der gemeinsam beschlossene Lösungsvorschlag in die Projektabwicklung integriert und bezüglich des Aufwands und Nutzens beobachtet. **Phase E** dokumentiert die gewonnenen Erkenntnisse für die weitere Projektabwicklung bzw. für weitere Projekte.

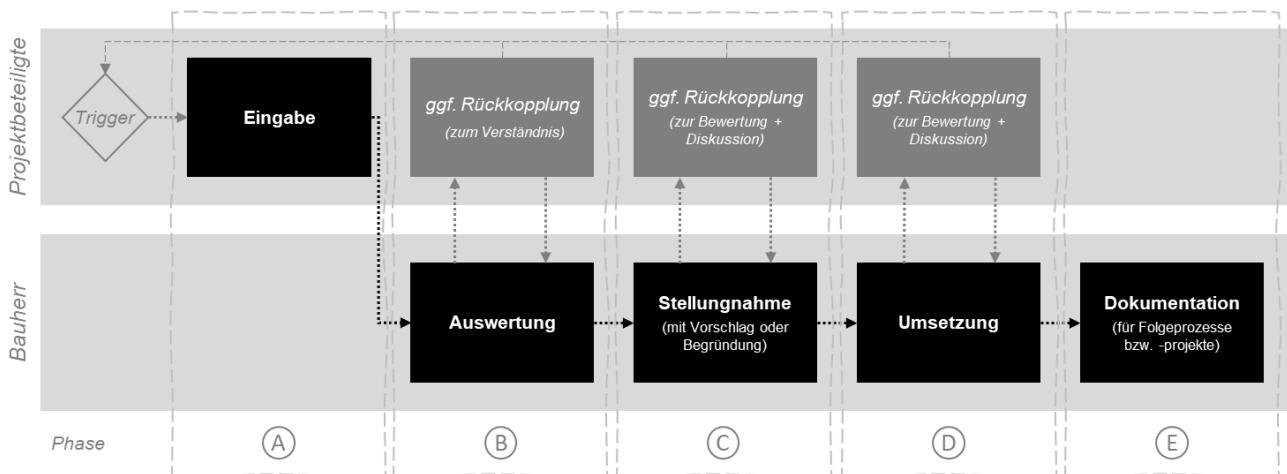


Bild 3 Phasendarstellung des PFS

**4. Begleiterscheinungen:** Aus der Forschung zu Feedback ist bekannt, dass sich die Leistungserbringung der Projektbeteiligten verschlechtern kann, wenn der Follow-up auf das gegebene Feedback nicht zufriedenstellend ist [3, S. 185]. Das Feedback muss daher zeitnah und transparent ausgewertet bzw. umgesetzt werden. Zudem kann falsche oder schlechte Kommunikation (Eindruck von Mehraufwand oder fehlendes Nutzenverständnis) bezüglich des PFS zu einer sehr geringen Nutzung führen. Dies verringert den Mehrwert des Systems oder erzeugt ein ungünstiges Aufwand-Nutzen-Verhältnis. Auch können bei geringer Nutzung des Systems vermeintliche Verbesserungsvorschläge integriert werden, die sich negativ auf unbeteiligte Projektbeteiligte auswirken. Es besteht ebenfalls die Gefahr einer zu intensiven Nutzung, was zu einem hohen Auswertungs- und Betreuungsaufwand für den Bauherrn führt. Eine Überlastung des Bauherrn kann zu längeren Auswertungszeiten bzw. mangelnder Umsetzung des Feedbacks führen. Dies wirkt sich auf die Zufriedenheit der Projektbeteiligten aus und kann die Leistungserbringung negativ beeinflussen [15, S. 23]. Weiterhin kann der Missbrauch des Systems Konflikte erzeugen und sich negativ auf das Projekt auswirken. Denkbare Szenarien sind: Die Nutzung zur anonymen Provokation des Bauherrn oder eine falsche Belastung anderer Projektbeteiligter. Auf Seiten des Bauherrn besteht zudem die Gefahr, dass dieser seinen aktiven Beitrag zur Gestaltung einer produktiven Arbeitsumgebung vernachlässigt, da die starke Einbindung der Projektbeteiligten durch das PFS irrtümlicherweise ein Delegationsverständnis entstehen könnte.

**5. Nutzungsprozess:** Der Prozess des PFS setzt sich aus fünf Phasen (A–E) zusammen (siehe Bild 3) und wird nachfolgend beschrieben. Für die Implementierung des PFS ist eine entsprechende Feedbackkultur erfolgsentscheidend [15, S. 42]. Den Projektbeteiligten wird damit aufgezeigt, dass insbesondere ihr kritisches Feedback gewünscht wird. Ebenso muss der Nutzen bereits im Vorhinein erkennbar sein. Der Bauherr sollte zudem die zeitliche Offenlegung aller Ergebnisse verbindlich zusichern und möglichst aus jedem Feedback eine Maßnahme ableiten. Den Beteiligten ist verständlich zu machen, dass die aus ihrem

Feedback abgeleitete Idee zu einer Maßnahme zur Diskussion gestellt wird (siehe Phase C). Anschließend soll die Umsetzung der Maßnahmen überwacht werden – sowohl hinsichtlich des Aufwands als auch des Nutzens. Im Sinne der allgemeinen Akzeptanz sollte der gesamte Prozess transparent gestaltet werden [3, S. 180-183].

**Phase A (Eingabe)** erhebt das Feedback zu einem beliebig gewählten Zeitpunkt über ein digitales Tool (z. B. MS Forms). Die Projektbeteiligten äußern sich hierin zu einem Aspekt der Projektabwicklung. Das Feedback wird anonym erhoben, um auch heikle Aspekte unabhängig der üblichen betrieblichen Dynamik frei ansprechen zu können. Empfehlenswert ist eine grobe Einordnung bzw. ein systemseitiger Hinweis auf die dadurch notwendige Spezifizierung des Feedbacktextes [3, S. 179; 2, S. 13 u. 19]. Die Dauer der Feedbackerhebung ist auf den Bedarf des Gebers ausgerichtet. Jedes Feedback besteht mindestens aus einer subjektiven Bewertung (z. B. 10-stufige Likert-Skala) des Status Quo des entsprechend ausgewählten Aspekts und einem Freitextkommentar getrennt nach Hemmnissen oder Verbesserungsideen (= ‚Fast Track‘-Variante). Darüber hinaus kann ein Feedbackgeber freiwillig entscheiden, ob er noch zu weiteren ausgewählten Aspekten des Projekts Stellung beziehen möchte. Hierfür ist ein durch den Bauherrn je nach Bedarf frei zu gestaltender Fragenbogen hinterlegt (= ‚Intense Track‘-Variante). Der Zugang zur Eingabe findet statt über: Ausgehängte QR-Codes an frequentierten Projektschauplätzen (z. B. an Baustellencontainern, den Toiletten oder dem Kaffeeautomaten) und QR-Codes oder Links auf Projektdokumenten (z. B. Besprechungsprotokolle, Projekthandbücher oder auf Projektplattformen). Zudem soll in Projektbesprechungen durch den Projektleiter regelmäßig darauf hingewiesen werden. Je nach Situation kann es auch hilfreich sein, Anreize für die Feedbackabgabe zu nutzen.

In **Phase B (Auswertung)** findet die Auswertung des erhobenen Feedbacks statt. Diese erfolgt je nach Information quantitativ bzw. für Freitexte qualitativ. Für die bedarfsgerechte Auswertung empfiehlt sich ebenfalls eine Software, die auch eine dokumentarische Fortschreibung des

Feedbacks ermöglicht (z. B. MS Excel). Jedes Feedback wird durch den Bauherrn individuell und im Gesamtzusammenhang analysiert und ausgewertet. Es kann systematisch nach Mustern gesucht werden, z. B. im Hinblick auf Bereiche oder Zeitpunkte im Projekt. Ziel der Auswertung ist die Generierung eines Lösungsvorschlags, wie das Hemmnis oder die Verbesserungsidee im Rahmen der Projektabwicklung umgesetzt werden können. Alternativ ist eine Begründung zu formulieren, warum das Feedback nicht umgesetzt wird. Die Auswertung sollte zeitnah und sorgfältig erfolgen. Im Zweifelsfall sollte das Feedback an die Projektbeteiligten rückgekoppelt werden, um ein „richtiges“ Verständnis sicherzustellen.

In **Phase C (Stellungnahme)** wird die generierte Lösung an alle Projektbeteiligten kommuniziert und für einen begrenzten Zeitraum (z. B. eine Woche) zur Diskussion freigestellt (Forumcharakter). Wichtig ist die Form der Stellungnahme: Es sollte darauf geachtet werden, dass das Feedback im Original veröffentlicht und die Auswertung als Kommentar beigefügt wird. Die Transparenz wird hierdurch sichergestellt. Grundsätzlich wird empfohlen, dass die Kommunikation der Stellungnahme des Projektleiters durch diesen an alle Projektbeteiligten via E-Mail oder in Zuge einer Projektbesprechung empfohlen. Das zeigt ein entsprechendes Kommittent und kann die Beteiligten dazu motivieren, sich zu beteiligen. Die Stellungnahme sollte zudem möglichst zeitnah an die Feedbackeingabe erfolgen [3, S. 180].

**Phase D (Umsetzung)** setzt die in Phase C vorgestellten und ggf. in der Rückkopplung noch angepassten Maßnahmen in der Projektabwicklung um. Der Verlauf jeder Maßnahme sollte beobachtet und hinsichtlich des Aufwands und Nutzens in regelmäßigen Zeitabschnitten bewertet werden. Dieser Follow-up-Prozess ist für den Erfolg der jeweiligen Maßnahme von großer Bedeutung. Hiermit können Maßnahmen nachgesteuert bzw. im Zweifelsfall wieder eingestellt werden. Folgende Fragen sollten in dieser Phase beantwortet werden: Behebt die Maßnahme das Problem? Entsteht der vermutete Nutzen? Wie hoch sind Aufwand und Nutzen? Wie sinnvoll ist die Beibehaltung der Maßnahme? In diese Phase sollten auch die Projektbeteiligten miteinbezogen werden, um die Maßnahmen ebenfalls zu bewerten und zu diskutieren. Dieser Input kann zur Beantwortung der vorgestellten Fragen einen wichtigen Beitrag leisten. [2, S. 22 f.]

In **Phase E (Dokumentation)** werden die gewonnenen Erkenntnisse abschließend in Form von *Lessons Learned* dokumentiert. Hierfür eignet sich eine phasenweise Fortschreibung ab Phase B, um die Nachvollziehbarkeit für Folgeprojekte bzw. den weiteren Verlauf des Projekts zu gewährleisten. Für die Dokumentation und zur Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit empfehlen wir ein 4-Augen-Prinzip. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten zudem je nach Organisationsstruktur des Bauherren mit anderen Projekten geteilt werden, um den Nutzen des Systems zu vergrößern (Wissensmanagement).

## 5 Schlussbetrachtung

Der Beitrag zeigt auf, dass ein systematisches Einholen von Upward-Feedback in vielen Bereichen bereits etabliert ist und zur Verbesserung von Systemen, Produkten oder Dienstleistungen genutzt wird. Derartige Überlegungen fehlen bislang jedoch für Bauprojekte. Dies nimmt besonders vor dem Hintergrund der Vielzahl an Projektbeteiligten und der damit einhergehenden Bedeutung des *Faktor Mensch* einen hohen Stellenwert ein.

Das PFS verändert die Art und Weise sowie das Verständnis der Zusammenarbeit maßgeblich. Es wird nicht nur miteinander (kollaborativ), sondern gegenseitig füreinander gearbeitet. Somit betont das PFS die Mitwirkungsnotwendigkeit des Bauherren auch in sozialen Belangen. Dieser Ansatz wird besonders in der stark konventionell dominierten Baubranche ungewohnt ankommen. Die Umsetzung des PFS verlangt daher Mut zur Veränderung, um sich über bestehende Hierarchiegewohnheiten in Bezug auf einige Aspekte der Zusammenarbeit hinwegzusetzen.

Das vorgestellte Konzept veranschaulicht einen konkreten Zugang zur Verbesserung der menschlichen Leistungserbringung in Bauprojekten. Bereits vorhandene technologische Tools (MS Forms, MS Excel, MS Sway u. A.) ermöglichen eine einfache Umsetzung des PFS. Auch wenn das PFS in diesem Beitrag nur konzeptionell vorgestellt wurde, geben insbesondere die herausgestellten Prinzipien einen konkreten Anhaltspunkt für die Etablierung der Idee. Die maßgebenden Aspekte lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: freie Verfügbarkeit des Zugangs auf Eigeninitiative, Anonymität der Projektbeteiligten, Stellungnahmeverpflichtung des Bauherrn und generelles Commitment der Projektleitung, zeitnahe Bearbeitung des Feedbacks, Transparenz des gesamten Prozesses, Einbeziehung der Projektbeteiligten in die Ausgestaltung und Festlegung der Maßnahmen, Follow-up zur Wirksamkeit und die Dokumentation der Erkenntnisse und Übertragung auf weitere Projekte.

Mit der Konzeptionierung des PFS wurde ein weiterer Beitrag zum zunehmend ins Bewusstsein rückenden Themas des *Faktor Mensch* in Bauprojekten geleistet. Zusätzliche Forschungen, die den Mehrwert dieses Ansatzes in Projekten für den Bauherren und auch die Projektbeteiligten untersuchen, sollten durchgeführt werden. Auch die Entwicklung einer maßgeschneiderten Software-Anwendung ohne Systemschnittstellen könnte einen entscheidenden Beitrag für den Erfolg einer Umsetzung leisten.

## 6 Literatur

- [1] Bakker, A; Demerouti, E.: *Job Demands-Resources Theory: Taking Stock and Looking Forward*. Journal of Occupational Health Psychology, Vol. 22 (3), 2016.

- [2] Bungard, W.: *Feedback in Organisationen: Stellenwert, Instrumente und Erfolgsfaktoren*, in: Jöns, I.; Bungard, W. (Hrsg.): *Feedbackinstrumente im Unternehmen: Grundlagen, Gestaltungshinweise, Erfahrungsberichte*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2018.
- [3] Bungard, W.: *Mitarbeiterbefragungen*, in: Jöns, I.; Bungard, W. (Hrsg.): *Feedbackinstrumente im Unternehmen: Grundlagen, Gestaltungshinweise, Erfahrungsberichte*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2018.
- [4] Diederichs, C. J.; Preuß, N.: *Projektentwicklung und Immobilienmanagement*, in: Diederichs, C. J.; Malkwitz, A. (Hrsg.): *Bauwirtschaft und Baubetrieb: Technik – Organisation – Wirtschaftlichkeit – Recht*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020.
- [5] Drucker, P.: *Management: Tasks, Responsibilities, Practices*. New York: Harper & Row, Publishers, 1974.
- [6] Edwards, J.; Caplan, R.; Van Harrison, R.: *Person-Environment Fit Theory: Conceptual Foundations, Empirical Evidence, and Directions for Future Research*, in: Cooper, C. (Hrsg.): *Theories of Organizational Stress*. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- [7] EU-Richtlinie 2019/1937 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2019 zum Schutz von Personen, die Verstöße gegen das Unionsrecht melden, 2019.
- [8] Greier, P.; Mayer, P.; Stark, K.: *Baubetriebslehre – Projektmanagement: Erfolgreiche Steuerung von Bauprojekten*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009.
- [9] Haghsheno, S.: *Analyse der Chancen und Risiken des GMP-Vertrags bei der Abwicklung von Bauprojekten*. Dissertation an der TU Darmstadt. Berlin: Mensch & Buch Verlag, 2004.
- [10] Haghsheno, S.; Budau, M.; Russmann, E.: *Collaboration Barometer - Development of a Tool for Measuring Collaboration during Design and Construction*, in: Tommelein, I.; Daniel, E. (Hrsg.): *Proc. 28th Annual Conference of the International Group of Lean Construction (IGLC28)*, 2020.
- [11] Haghsheno, S.: *Ansätze im Bauprojektmanagement zur Etablierung einer kooperativen Projektkultur*, in: Kandel, R.; Kniffka, R. (Hrsg.): *Standpunkt Baurecht: Festschrift für Stefan Leupertz*. Hürth: Werner Verlag, 2021.
- [12] Haug, S.; Maedche, A.: *Crowd-Feedback in Information Systems Development: A State-of-the-Art Review*. ICIS 2021 Proceedings, Association for Information Systems (AIS), 2021.
- [13] Hevner, A.: *A Three Cycle View of Design Science Research*. Scandinavian Journal of Information Systems, Vol. 19 (2), 2007.
- [14] Hevner, A.; March, S.; Park, J.; Ram, S.: *Design Science in Information Systems Research*. MIS Quarterly, Vol. 28 (1), 2004.
- [15] Jöns, I.: *Feedbackprozesse in Organisationen: Psychologische Grundmodelle und Forschungsbefunde*, in: Jöns, I.; Bungard, W. (Hrsg.): *Feedbackinstrumente im Unternehmen: Grundlagen, Gestaltungshinweise, Erfahrungsberichte*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2018.
- [16] Johannesson, P.; Perjons, E.: *An Introduction to Design Science*. Cham: Springer, 2021.
- [17] Kraus, R.; Woschée, R.: *Commitment und Identifikation mit Projekten*, in: Wastian, M.; Braumandl, I.; von Rosenstiel, L.; West, M.: *Angewandte Psychologie für das Projektmanagement: Ein Praxisbuch für die erfolgreiche Projektleitung*. Berlin: Springer-Verlag, 2018.
- [18] Kristof, A.: *Person-Organization Fit: An Intergrative Review of its Conceptualizations, Measurement, and Implications*. Personell Psychology, 49, 1996.
- [19] Kurtessis, J.; Eisenberger, R.; Ford, M.; Buffardi, L.; Stewart, K.; Adis, C.: *Perceived Organizational Support: A Meta-Analytic Evaluation of Organizational Support Theory*. Journal of Management, Vol. 43 (6), 2015.
- [20] Liker, J.: *Der Toyota Weg: Die 14 Managementprinzipien des weltweit erfolgreichsten Autokonzerns*. München: Finanzbuch Verlag, 2022.
- [21] Pinto, J.; Mantel, S.: *The Causes of Project Failure*. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 37 (4), 1990.
- [22] Ross, S.: *The Economic Theory of Agency: The Principal's Problem*, The American Economic Review, Vol. 63 (2), 1973.
- [23] Schwaber, K.; Sutherland, J.: *Der Scrum Guide. Der gültige Leitfaden für Scrum: Die Spielregeln*, abgerufen unter: [www.scrum.org](http://www.scrum.org), 2020.
- [24] Stange, R.; Schiele, H.; Henseler, J.: *Advancing Purchasing as a Design Science: Publication Guidelines to Shift Towards More Relevant Purchasing Research*. Journal of Purchasing & Supply Management, 28, 2020.
- [25] Turner, J. R.: *The Handbook of Project-based Management: Leading Strategic Change in Organizations*. New York u. a.: McGraw Hill, 2014.
- [26] Wöhe, G.; Döring, U.; Brösel, G.: *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. München: Verlag Franz Vahlen, 2020.

# Akzeptanz und Verbreitung digitaler Technologien bei der Bauausführung

## Acceptance and diffusion of digital technologies during construction

Julian Halter, M.Sc., Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), Gotthard-Franz-Straße 3, 76131 Karlsruhe, julian.halter@kit.edu

Melike Erdogan, M.Sc., erdogan.melike@outlook.de

### Kurzfassung

Aktuell kommen zur Verfügung stehende innovative und digitale Technologien im Bauwesen, insbesondere bei der Bauausführung, noch nicht flächendeckend zum Einsatz. Einer der Gründe dafür, könnte die mangelnde Akzeptanz oder die grundsätzliche Abneigung gegenüber digitalen Technologien bei den Nutzern sein. Um das zu untersuchen, wurde mit Hilfe einer empirischen Untersuchung die Verbreitung und die Akzeptanz digitaler Technologien bei der Bauausführung ermittelt. Im ersten Schritt wurden anhand einer Literaturrecherche digitale Technologien identifiziert, die bei der Bauausführung zum Einsatz kommen können. Auf Basis eines technologieorientierten Akzeptanzmodells wurde anschließend eine Online-Umfrage mit 154 Teilnehmern aus der Bauausführung durchgeführt. Die Befragung bestätigte, dass ein Großteil der vorhandenen Technologien aktuell nicht oder nur in Pilotprojekten zum Einsatz kommen. Die Ergebnisse weisen jedoch auch darauf hin, dass trotz der geringen Verbreitung eine eher hohe Akzeptanz bei den Befragten vorhanden ist.

### Abstract

Currently, available innovative and digital technologies in the construction industry, especially in the execution of construction work, are not yet being used across the board. One of the reasons for this could be the lack of acceptance or the fundamental aversion to digital technologies among users. To investigate this, an empirical study was conducted to determine the dissemination and acceptance of digital technologies in construction. In the first step, a literature review was used to identify digital technologies that can be utilized in construction execution. Based on a technology-oriented acceptance model, an online survey was then conducted with 154 participants from the construction industry. The survey confirmed that a large proportion of the existing technologies are not currently being used or only in pilot projects. Nevertheless, the results also indicate that, despite the low level of dissemination, there is a rather high level of acceptance among the respondents.

## 1 Einleitung

### 1.1 Ausgangslage

Die Digitalisierung ist ein globaler Trend, der zu erheblichen Veränderungen in der Gesellschaft und in Organisationen führt [1]. In engem Zusammenhang mit der fortschreitenden Digitalisierung steht der Einsatz digitaler Technologien. Mit Hilfe neuer digitaler Ansätze und Werkzeuge können Organisationen die Produktivität und Effektivität in allen Stufen der Wertschöpfungsketten steigern [2].

Der digitale Wandel eröffnet der Baubranche eine Vielzahl von Chancen, die sich sowohl für den Alltag auf der Baustelle als auch für die Steuerung des Unternehmens ergeben [3]. Laut einer Studie von PWC [4] erwartet die Bauindustrie, durch die Digitalisierung, in erster Linie eine bessere Zusammenarbeit und Kommunikation mit allen beteiligten Akteuren sowie kürzere Projektphasen durch effizientere Arbeitsabläufe und

eine Reduzierung von Kosten. Auch wenn die Mehrwerte der Digitalisierung allgemein anerkannt werden, sehen etwa zwei Drittel der Befragten bei der Nutzung digitaler Lösungen und der Digitalisierung ihrer operativen Prozesse noch Aufholbedarf. Gründe für diese Diskrepanz können in den zahlreichen Herausforderungen bei der Nutzung digitaler Lösungen gesucht werden. Die größte Herausforderung liegt laut der Studie beim fachlichen Know-how der Mitarbeitenden bzw. dem Fachkräftemangel. 81% der Befragten sehen diese Herausforderung auf sich zukommen. Direkt dahinter sehen die Befragten (78%) die interne Akzeptanz als zweitgrößte Herausforderung bei der Nutzung von digitalen Lösungen in der Bauindustrie. [4]

### 1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Laut einer Studie von Roland Berger [2] stimmen 93% der befragten Akteure aus der Bauindustrie zu, dass die Digitalisierung die Gesamtheit ihrer Prozesse beeinflussen wird. Trotz dieses Bewusstseins bei den Beteiligten kommen vorhandene innovative und digitale



Technologien noch nicht flächendeckend zum Einsatz. Einer der Gründe dafür, könnte die mangelnde Akzeptanz oder grundsätzliche Abneigung gegenüber digitalen Technologien bei den Nutzern sein. Ziel dieser Untersuchung ist es daher den aktuellen Stand der Verbreitung digitaler Technologien und die Akzeptanz gegenüber der Nutzung digitaler Technologien bei der Bauausführung zu ermitteln. Dafür sind mit Hilfe einer empirischen Untersuchung die nachfolgenden Forschungsfragen bearbeitet worden.

Forschungsfrage 1: Wie ist der aktuelle Stand der Verbreitung digitaler Technologien bei der Bauausführung?

Forschungsfrage 2: Wie hoch ist die Akzeptanz gegenüber der Nutzung digitaler Technologien bei der Bauausführung?

### 1.3 Methodisches Vorgehen

Mit Hilfe einer ausführlichen Literaturrecherche wurden zunächst die bei der Bauausführung aktuell eingesetzten digitalen Technologien identifiziert. Die ermittelten digitalen Technologien werden in digitale Arbeitsmittel und digitale Lösungen kategorisiert. Für die darauf aufbauende empirische Untersuchung wird ein anerkanntes technologieorientiertes Akzeptanzmodell als Grundlage gewählt. Die Konstrukte des Akzeptanzmodells bilden den Rahmen des Fragebogens zur Ermittlung der Verbreitung und Akzeptanz digitaler Technologien. Basierend auf den Veröffentlichungen von Venkatesh wurden acht Einflussfaktoren mit Hilfe von insgesamt 34 Items und einer siebenstufigen Likertskala abgefragt. Zusätzlich wurden Fragen zu soziodemographischen Merkmalen und den Projektrollen der Teilnehmenden ergänzt. Die empirische Untersuchung erfolgte in Form einer quantitativen Online-Umfrage. Die Umfrage wurde insgesamt an 1150 Kontakte verteilt. Insgesamt haben 154 Personen aus der Baubranche den Fragebogen vollständig beantwortet. Die Auswertung der Umfrage erfolgt im Hinblick auf den aktuellen Stand der Nutzung und der Akzeptanz digitaler Technologien bei der Bauausführung. Nach der deskriptiven Auswertung der Daten wurden die Ergebnisse anhand von zwölf Hypothesen auf Zusammenhänge zwischen Verbreitung und Akzeptanz sowie soziodemographischen Merkmalen und Projektrollen analysiert.

## 2 Digitalisierung der Baubranche

In den aktuellen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Publikationen zählt die Digitalisierung zu den am häufigsten diskutierten Themen weltweit [5]. Unter dem Schlagwort Digitalisierung finden sich vielerlei Definitionen und Beschreibungen, die sich von technischen Betrachtungen bis hin zu wirtschaftlichen Aspekten bewegen [6]. Ursprünglich bedeutet Digitalisierung sowohl im Duden als auch im Oxford English Dictionary „die Umwandlung von analogen Informationen in digitale Repräsentation in Form einer Folge von Nullen und Einsen“. Aktuell bezieht sich die Digitalisierung jedoch vielmehr auf eine digitale Transformation von

Organisationen durch Neuausrichtung von Geschäftsmodellen, Strukturen und Prozessen unter der Einführung und Nutzung von digitalen Technologien. [6, 7]

Ein wesentlicher Teil der Digitalisierung sind demzufolge digitale Technologien, welche das Ergebnis der technologischen Entwicklung der vergangenen Jahrzehnte darstellen [8]. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [8] definiert digitale Technologien als „Lösungskomponenten für das digital vernetzte Unternehmen, die aus der Vernetzung betrieblicher Anwendungssysteme, Software- und Hardwarekomponenten bestehen, sodass sie mittels Datenverarbeitung einen datenbasierten Mehrwert in einer Anwendung schaffen“. Zur Nutzung der digitalen Technologien in der Praxis spielen in erster Linie digitale Endgeräte eine wesentliche Rolle [9]. Mit Endgeräten sind z.B. Smartphones, Tablets, Laptops und Computer gemeint, die den Zugang zu digitalen Informationen und Anwendungssystemen zu jeder Zeit und an jedem Ort ermöglichen [10]. Demzufolge ist eine digitale Technologie im engeren Sinne eine vernetzte, software- und hardwarebasierte Lösung, die dazu dient, Arbeitsprozesse (z.B. auf der Baustelle) digital umzusetzen. Im weiteren Sinne werden für die Nutzung der digitalen Technologie und deren Umsetzung in einem Arbeitsprozess digitale Arbeitsmittel wie z.B. Geräte, Endgeräte und Wearables benötigt. Daher wird auch in der weiteren Untersuchung zwischen digitalen Lösungen und digitalen Arbeitsmitteln unterschieden.

Mittlerweile kommen in vielen Unternehmen digitale Technologien zum Einsatz [8]. Viele Unternehmen befinden sich zurzeit mitten in einer digitalen Transformation und kombinieren dabei mehrere Technologien wie z.B. Internet of Things (IoT), Künstliche Intelligenz (KI), Digitaler Zwilling, Virtual- und Augmented Reality miteinander, um die Prozesse in ihrem Betrieb umfangreich zu digitalisieren [11]. Jedoch gibt es zwischen den Branchen große Unterschiede im Digitalisierungsgrad. Die Bauindustrie zählt zu den Branchen in der digitale Technologien noch nicht sonderlich weit verbreitet sind oder gezielt eingesetzt werden [8].

Die Baubranche steht zwar vor tiefgreifenden Veränderungen auf dem Weg in eine digitale Zukunft [3], doch es laufen vor allem auf den Baustellen nach wie vor die gleichen manuellen Tätigkeiten und papierbasierte Prozesse wie schon vor Jahrzehnten ab. Dazu zählen beispielsweise zahlreiche Aktenordner, Baupläne sowie Lieferscheine und Stundenzettel in Papierform. Die vielfältigen technischen Möglichkeiten zur Digitalisierung solcher Prozessschritte gehören auf Baustellen weiterhin nicht zur Tagesordnung. Die Folgen sind häufig Informationsverluste und Fehlermeldungen. [12]

Diese subjektive Einschätzung wird durch verschiedene Studien bestätigt. Dazu gehört der im Rahmen des Projektes „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort Deutschland“ vom BMWK für 2022 veröffentlichte Digitalisierungsindex nach Branchen in Deutschland [13]. Die ersten beiden Plätze belegen die Informations- und

Kommunikationstechnologie (276 Punkte) und die Automobilindustrie (188 Punkte). Das Baugewerbe ist dem „Sonstigen Produzierenden Gewerbe“ zugeordnet und findet sich mit 63 Punkten auf dem letzten Platz wieder. Damit zählt die Bauindustrie zu den Nachzögern bei der digitalen Transformation und weist, besonders in Deutschland, einen hohen Nachholbedarf auf. Abschließend lässt sich festhalten, dass die Baubranche zwar bei der Digitalisierung hinterher hängt, aktuell jedoch zumindest einen positiven Trend aufweist. Die Digitalisierung der Prozesse in der Bauwertschöpfungskette durch digitale Arbeitsmittel mit integrierten digitalen Lösungen ist immer gefragter [14].

### 3 Digitale Technologien bei der Bauausführung

Die digitale Transformation verändert die Arbeitsweise in der Baubranche insbesondere im Sinne einer engeren Zusammenarbeit bzw. Kollaboration. Die Ziele sind mehr Transparenz in der Abwicklung zu schaffen, kürzere Projektlaufzeiten sowie wirklichkeitsnahe Kostenkalkulationen zu erreichen und Verschwendungen bei der Produktion zu reduzieren. [15] Mithilfe der Vernetzung ist es möglich, die Bauwertschöpfungskette von der digitalen Bauplanung über die Bauausführung mit robotischen Prozessen auf der Baustelle, bis hin zur Gebäudebewirtschaftung zu verknüpfen [16].

Die für die Bauausführung relevanten digitalen Technologien sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die Kategorisierung erfolgt für den Bereich der „Digitalen Lösungen“ über die Unterkategorien *Datenerfassung und -verarbeitung*, *Informationsbereitstellung und -analyse* und *Automatisierung von Prozessen* [17]. Die digitalen Arbeitsmittel gliedern sich in *Geräte*, *(Mobile) Endgeräte* und *Wearables*.

Unter der Kategorie *Datenerfassung und -verarbeitung* fallen Technologien, die große Datenmengen erzeugen, verarbeiten und zur Verfügung stellen z.B. Sensoren, Laserscanner und vernetzte IoT-Geräte. Die Verfügbarkeit von Daten reicht von der Geolokalisierung und dem Feuchtigkeitsgehalt, über den Energieverbrauch und die Luftqualität, bis hin zu Videoaufnahmen und seismischen Messungen. Diese Daten erlauben eine Vielzahl von Analysen, um die Produktivität des Bauprozesses in allen Phasen zu steigern.

Die Technologien in der Kategorie *Informationsbereitstellung und -analyse* tragen dazu bei, die erzeugten Daten weiterzuverarbeiten, zu analysieren und darzustellen. Dafür kann z.B. BIM-Software oder Virtual Reality zum Einsatz kommen.

Mit der *Automatisierung von Prozessen* werden manuelle, aber auch komplexe Arbeitsschritte, die bisher von Menschen ausgeführt wurden, von automatisierten Geräten, Maschinen und Algorithmen übernommen [15]. Durch die Nutzung von automatisierten Baumaschinen, Fertigteilen oder 3D-Druck können sich die Endqualität des Projekts erhöhen, die Risiken für Arbeitnehmer verringern und neue Materialien und Techniken eingesetzt werden. Damit spielen die digitalen Technologien dieser Kategorie insbesondere für die Entwicklung und Modernisierung der eigentlichen Bauphase eine zentrale Rolle.

Die digitalen Arbeitsmittel beinhalten Werkzeuge, die bei der Nutzung digitaler Lösungen zum Einsatz kommen. In der Kategorie *Geräte* finden sich Drohnen für Orthofotos und photogrammetrische Punktwolken, 3D-Drucker für die Additive Fertigung, Laserscanner zum Aufnehmen von Punktwolken sowie HMD-Brillen zur dreidimensionalen Betrachtung von Bauwerksmodellen.

**Tabelle 1:** Übersicht digitaler Technologien bei der Bauausführung

Digitale Technologien					
Digitale Lösungen			Digitale Arbeitsmittel		
Datenerfassung und -verarbeitung	Informationsbereitstellung und -analyse	Automatisierung von Prozessen	Geräte	(Mobile) Endgeräte	Wearables
3D-Scanning/ Drohnenvermessung	BIM-Software	3D-Druck/ Additive Fertigung	3D-Drucker	Desktop-PC	Smartwatch
Sensorik	Digitaler Zwilling	Robotik/ Autonome Baumaschinen	3D-Laserscanner	Laptop	Datenbrille
Radio Frequency Identification (RFID)	Virtual Reality (VR)	Vorfertigung/ Modulare Bauweise	Drohne	Tablet	Datenhandschuhe
Internet of Things (IoT)	Augmented Reality (AR)	Blockchain	Bauroboter	Smartphone	Exoskelett
Cloud Computing	Künstliche Intelligenz (KI)		Head-Mounted Display (VR/AR)		
Mobile Computing	Bausoftware/App		RFID- Transponder		
Wearable Computing					

Mehr oder weniger mobile *Endgeräte*, wie Desktop-PC, Laptop, Tablet oder Smartphone spielen sowohl im Alltag vieler Menschen als auch bei der Bauausführung eine wichtige Rolle. Entscheidend ist, dass ein Endgerät in ein Daten- und Telekommunikationsnetzwerk eingebunden ist und darüber Daten empfangen und senden kann. Vor allem auf der Baustelle können mobile Endgeräte mit installierten Software-Applikationen und integrierten Sensoren z.B. Kamera, Ortungskomponenten und Mikrophon für verschiedene Zwecke eingesetzt werden.

*Wearables* werden im Unterschied zu Endgeräten direkt am Körper der Menschen angebracht. Dazu zählen unter anderem Smartwatch, Datenbrillen aber auch Datenhandschuhe und Exoskelette.

Die Einführung und Nutzung digitaler Technologien verändert zum einen die Prozesse der gesamten Bauertschöpfungskette und zum anderen die Rollen und Tätigkeiten vieler Akteure in der Baubranche [14]. Auf einer Baustelle könnten Baufacharbeitende in Zukunft körperlich anstrengende Tätigkeiten mit der Unterstützung von Exoskeletten ausführen, währenddessen Sie über AR-Brillen adaptive dreidimensionale Pläne visualisiert und Handlungsanweisungen eingeblendet bekommen. Mit entsprechender Sensorik und Kameras ausgerüstete Bauroboter, 3D-Drucker und Drohnen können die Ausführung der Bauprozesse beschleunigen, indem sie teil- oder vollautomatisiert Materialien transportieren und Bauteile herstellen oder digitale Aufmaße erzeugen. Über RFID-Trackingsystemen können Materialtransporte, Bauteile und Baumaterialien genau verortet werden und langwieriges Suchen reduziert werden. Softwareanwendungen zur digitalen Erfassung der Bautagesberichte, der Lieferscheine, Erstellung digitaler Aufmaße und Durchführung von Bestellvorgängen auf der Baustelle können für eine Beschleunigung der Prozesse und vollständige Dokumentation sorgen. Mit Hilfe von KI können Terminpläne aufgestellt, Grundrissvarianten verglichen und die Logistik sowie Bauablaufplanung optimiert werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten sind enorm vielfältig und können an dieser Stelle nur auszugsweise beschrieben werden. Hinzukommt, dass die Entwicklung stetig voranschreitet und in Zukunft Möglichkeiten entstehen, die vermutlich noch gar nicht ersichtlich sind. An welchen Stellen ein Einsatz digitaler Technologien auch einen tatsächlichen Mehrwert bringt, muss sich daher zum Teil erst noch in der Praxis beweisen.

## 4 Akzeptanz digitaler Technologien

Die Akzeptanz der Mitarbeitenden gegenüber neuen digitalen Technologien ist eine der zentralen Herausforderungen in Unternehmen [18]. Akzeptanz kann dabei in unterschiedlichen Dimensionen und Erscheinungsformen auftreten. Die wichtigste Unterscheidung liegt zwischen der Einstellungsakzeptanz, mit einer grundsätzlich positiven Haltung gegenüber dem Akzeptanzobjekt und der Handlungsakzeptanz, die sich in beobachtbarem Handeln äußert. Durch Überlagerung

dieser beiden Dimensionen lassen sich verschiedene Erscheinungsformen von Akzeptanz beschreiben, von offenem Widerstand und Ablehnung bis hin zu Befürwortung und aktiver Unterstützung. Ziel von Unternehmen bei der digitalen Transformation muss es sein, bei den Beschäftigten mit geeigneten Strategien und Maßnahmen, Widerstände bzw. Ablehnung zu verringern und mindestens Befürwortung, idealerweise eine aktive Unterstützung digitaler Technologien zu erreichen.

Schäfer und Keppler definieren Akzeptanz konkret als „das Resultat eines Wahrnehmungs-, Bewertungs- und Entscheidungsprozesses, aus dem eine bestimmte Einstellung und ggf. Handlung resultieren“ [19]. In Anlehnung an diese Definition bedeutet Akzeptanz für diese Untersuchung, dass Projektbeteiligte oder Mitarbeitende digitale Technologien bei der Bauausführung akzeptieren oder annehmen.

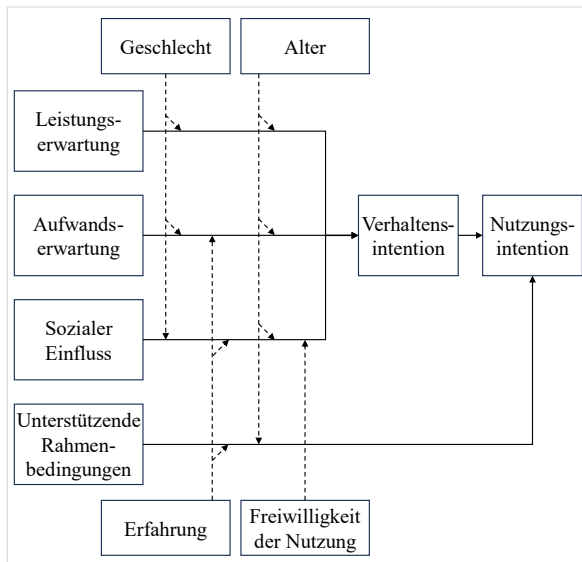
Die Akzeptanzbildung ist komplex und wird durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren beeinflusst. Um das menschliche Verhalten zu verstehen und vorherzusagen nutzt die Akzeptanzforschung häufig Akzeptanzmodelle. Die Akzeptanzmodelle bestehen aus numerisch nicht direkt messbaren latenten Konstrukten. Sowohl die Akzeptanz an sich als auch die Einflussfaktoren stellen ein solches latentes Konstrukt dar. Durch empirische Ermittlungen und statistische Tests können Korrelationen unter den Konstrukten bestimmt werden. [20]

In der Literatur existiert bereits eine Vielzahl von technologieorientierten Akzeptanzmodellen. Die Autoren der Akzeptanzmodelle haben die Einflussfaktoren bereits durch Operationalisierung mit Hilfe von sog. Items messbar gemacht. Auf Basis dieser vorformulierten Items wird der Fragebogen zur Ermittlung der Akzeptanz in dieser Untersuchung aufgebaut. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die Ermittlung der Akzeptanz mit Hilfe statistisch relevanter Einflussfaktoren erfolgt.

Als Grundlage für die Untersuchung der Akzeptanz gegenüber der Nutzung digitaler Technologien bei der Bauausführung wird das technologieorientierte Akzeptanzmodell „Unified Theory of Acceptance and Use of Technology“ (UTAUT) von Venkatesh herangezogen [21]. Venkatesh führte in diesem Akzeptanzmodell verschiedene Forschungen zusammen und formulierte das in Abbildung 1 dargestellte vereinheitlichte Modell der Akzeptanz und Nutzung von Technologien.

Die UTAUT versucht, basierend auf der Verhaltensintention, das anschließende Nutzungsverhalten eines Informationssystems zu erklären. Dafür nutzt die Theorie die *Leistungserwartung*, die *Aufwandserwartung*, den *Sozialen Einfluss* und die *Unterstützenden Rahmenbedingungen* als zentrale Konstrukte. Die ersten drei Konstrukte *Leistungserwartung*, *Aufwandserwartung* und *Sozialer Einfluss* wirken hierbei auf die Verhaltensintention, während das vierte Konstrukt *Unterstützende Rahmenbedingungen* direkt das Nutzungsverhalten beeinflusst. [21, 22].





**Abbildung 1:** Unified Theory of Acceptance and Use of Technology [21]

Neben den genannten zentralen Konstrukten berücksichtigt die UTAUT vier weitere Faktoren, die die Akzeptanz bzw. das Nutzungsverhalten einer Person beeinflussen. Das *Geschlecht*, das *Alter*, die *Erfahrung* und die *Freiwilligkeit der Nutzung* berücksichtigen dynamische Einflüsse und wirken direkt auf die zentralen Konstrukte. [21, 22].

## 5 Ergebnisse

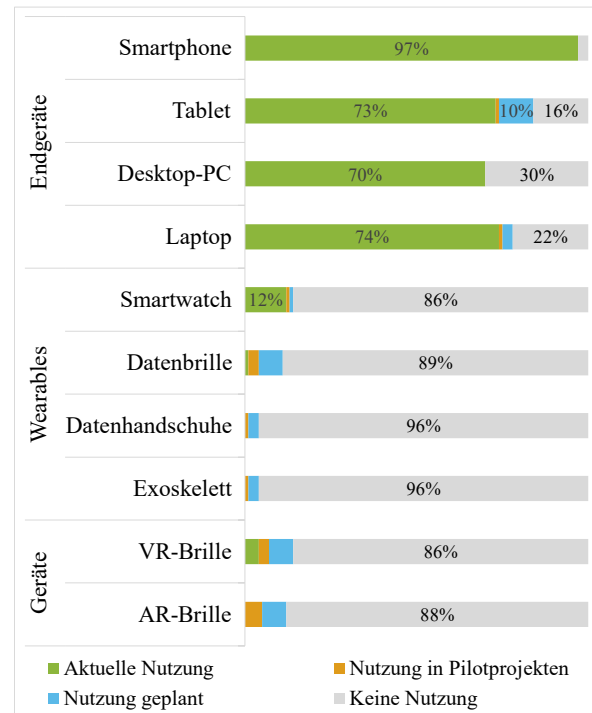
Der erste Teil der Befragung untersucht den aktuellen Stand der Verbreitung bzw. Nutzung digitaler Arbeitsmittel und Lösungen bei der Bauausführung. Die aktuelle Verbreitung digitaler Arbeitsmittel ist Abbildung 2 dargestellt.

Die Befragung ergab, dass *Endgeräte* wie Smartphone, Desktop-PC und Laptop die aktuell am häufigsten verwendeten digitalen Arbeitsmittel sind. Sie werden im Durchschnitt mehrmals täglich genutzt. Endgeräte wie Tablets kommen bei der Bauausführung inzwischen ebenfalls sehr häufig zum Einsatz. Dahingegen werden *Wearables* und *Geräte* wie VR- und AR-Brillen aktuell kaum bzw. in einem sehr geringen Umfang z.B. in Pilotprojekten eingesetzt.

Für die Nutzung digitaler Lösungen bei der Bauausführung sind die Ergebnisse in Abbildung 3 dargestellt. Im Bereich *Datenerfassung und -verarbeitung* werden digitale Lösungen wie 3D-Laserscanner, Drohnen und Sensoren bereits teilweise genutzt. Deutlich häufiger kommen jedoch Cloud-Lösungen zum Einsatz.

Im Bereich der *Informationsbereitstellung und -analyse* nutzten bereits 86% der Befragten spezielle Bausoftwareanwendungen bzw. Apps. Bei etwas mehr als der Hälfte der Befragten (56%) kommt bereits BIM-Software zum Einsatz. Damit weist die modellbasierte Arbeitsweise eine mittlere bis hohe Verbreitung auf.

Hinzukommt, dass noch zusätzlich 26% bereits in Pilotprojekten damit gearbeitet haben bzw. eine Nutzung planen. Weniger häufig kommen hingegen aktuelle Technologietrends wie VR, AR und KI zum Einsatz. Sie scheinen bei der Bauausführung bisher nur wenig verbreitet zu sein und eine Nutzung in Pilotprojekten ist ebenfalls selten geplant.



**Abbildung 2:** Nutzung digitaler Arbeitsmittel bei der Bauausführung<sup>1</sup>

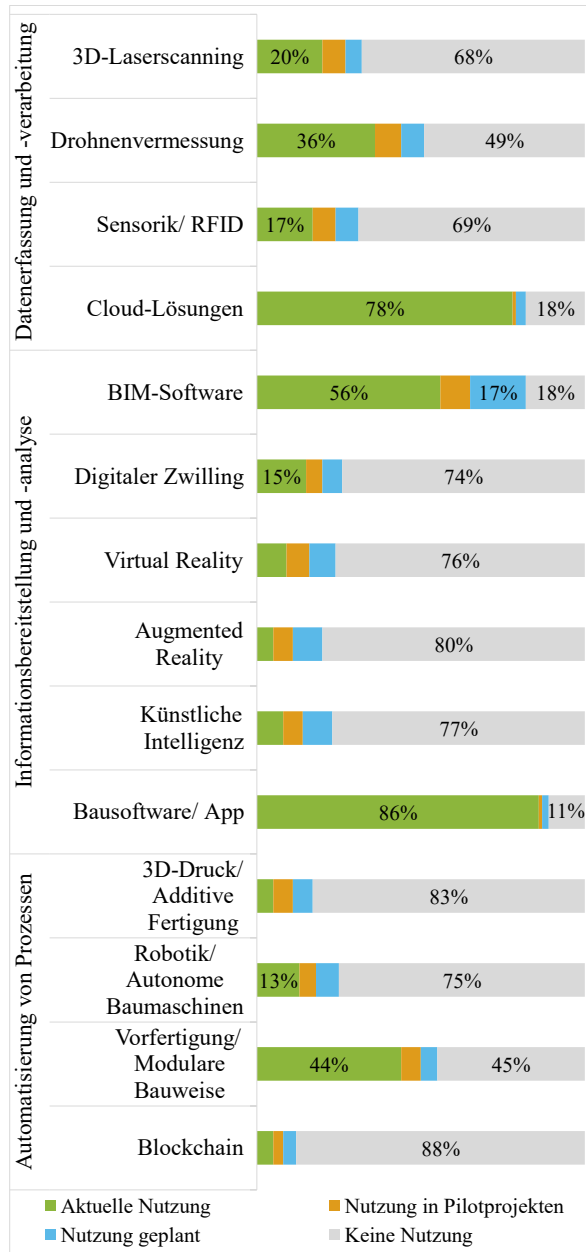
Im Bereich *Automatisierung von Prozessen* weist die Vorfertigung bzw. Modulare Bauweise mit 44% Nutzungsanteil den höchsten Verbreitungsgrad auf. Im Gegensatz dazu kommen bei einem Großteil der Befragten Additive Fertigungsmethoden, Bauroboter und Blockchain aktuell nicht zum Einsatz und eine Nutzung ist auch nicht geplant.

Die Ergebnisse decken sich zu weiten Teilen mit der von PWC durchgeführten Studie zur Digitalisierung der Bauindustrie [23]. In der Studie bewerten die Befragten die Fähigkeiten der Bauindustrie bei der Nutzung von 3D-Druck, Robotik, Blockchain, VR, Sensoren bzw. IOT-Lösungen und 3D-Laserscanning weitestgehend als ausbaufähig.

Ein anderes Bild ergibt sich bei der Akzeptanz der digitalen Technologien. In Abbildungen 4 sind die Ergebnisse zur Untersuchung der Akzeptanz gegenüber der Nutzung digitaler Technologien bei der Bauausführung für neun Akzeptanzfaktoren dargestellt. Gesamtheitlich betrachtet zeigt das Stimmungsbild eine überwiegend hohe Akzeptanz digitaler Technologien. Insgesamt 78% der Befragten glauben, dass die Nutzung digitaler Technologien ihre eigene Arbeitsleistung verbessert. 87% der Befragten sind der Meinung, dass digitale

<sup>1</sup> Alle Ergebnisse bzw. Werte kleiner 10% sind in den Abbildungen 2-4 nicht angegeben.

Technologien leicht bedienbar und einfach zu erlernen sind. Nur 12% der Befragten haben Bedenken oder Angst, wenn sie mit der Möglichkeit konfrontiert werden, digitale Technologien zu nutzen. Eine positive Einstellung gegenüber der Nutzung digitaler Technologien besitzen 91% der Befragten. Zudem beabsichtigen bzw. planen 82% in den nächsten Monaten digitale Technologien weiter zu nutzen oder weitere digitale Technologien einzusetzen.

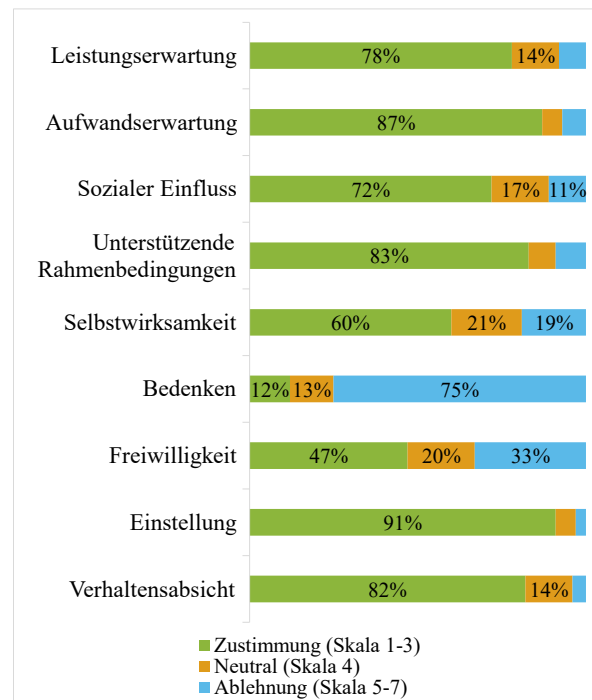


**Abbildung 3:** Nutzung digitaler Lösungen bei der Bauausführung

Als abschließender Schritt nach der Datenerhebung und Auswertung wurden die Ergebnisse anhand von zwölf Hypothesen auf mögliche Zusammenhänge analysiert. Ziel war es nach Zusammenhängen zwischen Verbreitung und Akzeptanz sowie soziodemographischen Merkmalen (Geschlecht, Altersgruppe, Bildungsabschluss) und Projektrollen (Position im Unternehmen, Berufserfahrung, Unternehmensgröße) zu suchen.

Die Analyse der aufgestellten Hypothesen zeigten, dass die Akzeptanz und Verbreitung digitaler Technologien in Abhängigkeit von soziodemographischen Merkmalen und Projektrollen stehen. Ausgenommen davon ist die Altersgruppe der Befragten. Es konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Alter und der Verbreitung und Akzeptanz digitaler Technologien festgestellt werden.

An dieser Stelle sollen beispielhaft zwei Hypothesen detaillierter betrachtet werden. Die Überprüfung der Hypothese "Je höher die Position der Person im Unternehmen, desto stärker die Nutzung von digitalen Technologien" zeigte, dass Personen in höheren Positionen wie (Ober)Bauleitung oder Geschäftsführung digitale Technologien insgesamt mehr nutzen als Baufacharbeitende. Das gilt insbesondere für wenig verbreitete Technologien wie KI oder 3D-Druck. Einer der Gründe dafür könnte sein, dass Führungskräfte als Erste Zugang zu digitalen Technologien erhalten und entsprechende Pilotprojekte begleiten.



**Abbildung 4:** Akzeptanz digitaler Technologien bei der Bauausführung

Die Prüfung der Hypothese "Je höher der Bildungsabschluss einer Person, desto höher die Akzeptanz gegenüber digitalen Technologien" ergab, dass Personen mit einem Studienabschluss durchschnittlich eine höhere Akzeptanz gegenüber der Nutzung digitaler Technologien aufweisen als Personen mit einem Schul- oder Ausbildungsabschluss. Möglicherweise wird im Studium insgesamt mehr für neue Technologien und den technischen Fortschritt sensibilisiert als während einer Ausbildung.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Grundsätzlich führte die Umfrage zu hilfreichen Erkenntnissen über die Akzeptanz und Verbreitung digitaler Technologien bei der Bauausführung. Die Auswertung der erhobenen Daten zeigt, dass der Großteil der verfügbaren digitalen Technologien aktuell nur von wenigen Unternehmen bei der Bauausführung eingesetzt werden. Demnach wird die Verbreitung für viele Technologien als gering eingeordnet. Die weiteren Ergebnisse weisen trotz der geringen Verbreitung auf eine grundsätzlich eher hohe Akzeptanz gegenüber der Nutzung digitaler Technologien während der Bauausführung hin. Darüber hinaus ergibt die Auswertung, dass sowohl die Akzeptanz als auch die Verbreitung in Abhängigkeit zu soziodemographischen Merkmalen und Projektrollen stehen.

In Anbetracht der Ergebnisse kann bestätigt werden, dass die Digitalisierung in der Baubranche noch nicht weit entwickelt ist und innovative Technologien bisher nur in einem geringen Ausmaß zum Einsatz kommen. Die Ergebnisse zeigen auch, dass digitale Technologien in Großunternehmen deutlich häufiger eingesetzt werden, als in kleineren- und mittleren Unternehmen. Die interne Akzeptanz ist gesamtheitlich betrachtet zwar eher hoch, jedoch auch stark von den Projektrollen bzw. Positionen in Unternehmen abhängig. Im Gegensatz zu Führungskräften zeigen insbesondere Baufachkräfte neben einer geringen Nutzung ebenfalls eine niedrige Akzeptanz gegenüber digitalen Technologien.

In zukünftigen Forschungen ist es denkbar, den Fokus mehr auf die Baustelle zu richten, um gezielte Ergebnisse bezüglich der Akzeptanz und Verbreitung digitaler Technologien bei Baufacharbeitern zu erhalten. Dadurch könnte aufgezeigt werden, ob eine grundsätzliche Abneigung gegenüber der Nutzung digitaler Technologien auf Baustellen vorhanden ist. Eine weitere Möglichkeit ist die Analyse der Akzeptanz und Verbreitung digitaler Technologien in Abhängigkeit der Unternehmensgrößen über einen qualitativen Forschungsansatz.

### Literatur

- [1] J. Blankenbach und R. Becker: *BIM und die Digitalisierung im Bauwesen*. In Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft, W. Frenz, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer, 2020 S. 777–797.
- [2] Roland Berger GmbH: *Digitalisierung der Bauwirtschaft: Der europäische Weg zu "Construction 4.0"*. 2016.
- [3] Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V.: *Bauwirtschaft 4.0: Der Baumittelstand auf dem Weg in die digitale Zukunft*. 2020.
- [4] PricewaterhouseCoopers GmbH: *PwC-Studie: Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Corona in der Bauindustrie: Eine PwC-Studie zum*
- Umgang der Branche mit den drei aktuellen Herausforderungen*. 2021.
- [5] A. Goudz und S. Erdogan: *Digitalisierung in der Corona-Krise: Auswahl und Einsatz von innovativen Technologien für die Logistik (Essentials)*. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler, 2021.
- [6] W. Becker et al., Hg. *Geschäftsmodelle in der digitalen Welt: Strategien, Prozesse und Praxiserfahrungen*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2019.
- [7] S. Brennen und D. Kreiss: *Culture Digitally - Digitalization and Digitization*. <https://culturedigitally.org/2014/09/digitalization-and-digitization/> (Zugriff am: 11. November 2022).
- [8] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland: Technologie- und Trendradar 2021*. 2021.
- [9] F. Öz: *Digitalisierung in Kleinbetrieben: Ergebnisse aus Baugewerbe, Logistik und ambulanter Pflege*. 2019.
- [10] F. Abolhassan: *Was Treibt Die Digitalisierung?: Warum an der Cloud Kein Weg Vorbeiführt*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2016.
- [11] E. Foth: *Smarte Services mit künstlicher Intelligenz: Best Practices der Transformation zum digitalisierten, datengetriebenen Unternehmen*. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg, 2021.
- [12] T. D. Oesterreich und F. Teuteberg: *Industrie 4.0 in der Wertschöpfungskette Bau – Ferne Vision oder greifbare Realität?* In *Industrie 4.0: Herausforderungen, Konzepte und Praxisbeispiele*, S. Reinheimer, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017 S. 71–89.
- [13] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Hg.: *Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland: Digitalisierungsindex 2022*. 2023.
- [14] K. Mattizik, R. Sitzberger, M. Schönwitz und J. Hartje: *Ein Bauplan für die Digitalisierung in der Bau- und Immobilienbranche: Eine Orientierungshilfe für die digitale Transformation*. In *Agile Digitalisierung im Baubetrieb: Grundlagen, Innovationen, Disruptionen und Best Practices*, C. Hofstadler und C. Motzko, Hg., 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer Vieweg, 2021.
- [15] M. Frahm und H. Rahebi: *Digitalisierung*. In *Management von Groß- und Megaprojekten im Bauwesen: Grundlagen für eine komplexitätsgerechte Umsetzung von Infrastrukturvorhaben*, M. Frahm und H. Rahebi, Hg., Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg, 2021 S. 149–162.

- [16] C. Kropp und A.-K. Wortmeier: *Intelligente Systeme für das Bauwesen: überschätzt oder unterschätzt?* In Digitalisierung souverän gestalten: Innovative Impulse im Maschinenbau, E. A. Hartmann, Hg., Berlin, 2021 S. 98–117.
- [17] European Commission: *European Construction Sector Observatory: Digitalisation in the construction sector*. <https://ec.europa.eu/docs-room/documents/45547> (Zugriff am: 27. November 2022).
- [18] T. Bauernhansl, M. ten Hompel und B. Vogel-Heuser, Hg. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.
- [19] M. Schäfer und D. Keppler: *Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung: Überblick und Reflexion am Beispiel eines Forschungsprojekts zur Implementierung innovativer technischer Energieeffizienz-Maßnahmen*. 2013.
- [20] G. Bandow: *"Das ist gar kein Modell!": Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften* (Springer eBook Collection Business and Economics). Wiesbaden: Gabler, 2009.
- [21] Venkatesh, Morris und Davis: *User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View*. MIS Quarterly, Jg. 27, Nr. 3 S. 425 2003, doi: 10.2307/30036540.
- [22] J. Halter: *Akzeptanzmodelle zur Berücksichtigung des Faktors Mensch bei der Implementierung von BIM*. in *Tagungsband zum 31. BBB-Assistent:innentreffen Innsbruck 2022*, Innsbruck, Arbeitsbereich Für Baumanagement, Baubetrieb Und Tunnelbau, Hg. 2022 S. 118–132.
- [23] PricewaterhouseCoopers GmbH: *Digitalisierung der Bauindustrie 2020*. 2020.

# Early Contractor Involvement für öffentliche Auftraggeber – Chancen für eine effizientere Projektabwicklung

## Early Contractor Involvement for public owners - opportunities for more efficient project delivery

Carl Philipp Friedinger, Universität der Bundeswehr München, Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft, 85577 Neubiberg, [carl.friedinger@unibw.de](mailto:carl.friedinger@unibw.de)

Simon Christian Becker, Universität der Bundeswehr München, Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft, 85577 Neubiberg, [s.christian.becker@unibw.de](mailto:s.christian.becker@unibw.de)

### Kurzfassung

Die Abwicklung des Gemeinschaftskraftwerks Inn in Österreich zeigt eine positive Wirkung innovativer Modelle gegenüber traditionellen Modellen. Ein im Ausland regelmäßig erfolgreich angewandtes Modell ist Early Contractor Involvement (ECI). Unter ECI wird die frühzeitige Einbindung von Auftragnehmern und Lieferanten in die Planungsphase verstanden. Durch die Anwendung von ECI können positive Effekte in der Projektabwicklung erzielt werden. Der Beitrag zeigt die existierenden Formen des ECI auf und untersucht, welche - unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen - für öffentliche Auftraggeber in Deutschland umsetzbar sind. Das ECI ist aufgrund des damit verbundenen Mehraufwands in der Ausschreibungs- und Planungsphase nur für die Abwicklung großer und komplexer Projekte geeignet. Darüber hinaus müssen für eine erfolgreiche Projektabwicklung mit dem ECI ausreichende eigene Kompetenzen und Ressourcen beim Auftraggeber vorhanden sein. Aufgrund strenger gesetzlicher Regelungen sind derzeit nur wenige der identifizierten Ausprägungen für öffentliche Auftraggeber anwendbar.

### Abstract

The execution of the "Gemeinschaftskraftwerks Inn" in Austria shows a positive effect of innovative models compared to traditional models. One model that is regularly applied successfully abroad is Early Contractor Involvement (ECI). ECI is understood as the early involvement of contractors and suppliers in the planning phase. By applying ECI, positive effects can be achieved in project management. The article shows the existing forms of ECI and examines which - taking into account the legal framework conditions - can be implemented by public clients in Germany. Due to the additional work involved in the tendering and planning phase, ECI is only suitable for large and complex projects. In addition, for successful project implementation with the ECI, the client must have sufficient in-house skills and resources. Due to strict legal regulations, only a few of the identified characteristics are currently applicable for public clients.

### 1 Einleitung

Komplexe Großprojekte stellen Auftragnehmer regelmäßig vor Herausforderungen hinsichtlich der Kostenkalkulation und der termingerechten Abwicklung [1]. Dies führt wiederum zu Kosten- und Terminüberschreitungen auf Seiten der öffentlichen Auftraggeber (öAG) und damit einhergehender negativer Publicity. Die zweite S-Bahn-Stammstrecke in München ist nur das jüngste Beispiel hierfür in der medialen Berichterstattung über öffentliche Auftraggeber [2]. Ein Grund hierfür ist mitunter die Anwendung traditioneller Projektabwicklungsmodelle und ungeeigneter Vertragswerke, die beide den besonderen Anforderungen komplexer Großprojekte nicht gerecht werden. Trennende Mechanismen dieser Modelle,

gepaart mit der scheuklappenartigen Verfolgung von Partikularinteressen, stellen eine Ursache für die grundsätzliche Problematik dar [3]. Innovative Projektabwicklungsmodelle bieten einen Ansatz, genau diesen Missständen und Problemen zu begegnen [4, 5]. So hat sich beispielsweise der Einsatz des „TIWAG Allianzvertrages“ nachweislich positiv auf die Bauzeit des Gemeinschaftskraftwerks Inn ausgewirkt [6]. Bereits im 2015 veröffentlichten Abschlussbericht der Reformkommission Bau von Großprojekten wird diesbezüglich unter anderem die Stärkung der partnerschaftlichen Projektzusammenarbeit und die Etablierung einer Kooperationskultur vorgeschlagen [7]. Darauf aufbauend wird im Leitfaden Großprojekte von 2018 die „Einbindung von Ausführungskompetenz“ als vorteilhaft für Großprojekte beschrieben. Bereits in der Planungsphase soll die Nutzung von Auftragnehmer-Know-

DOI: 10.17185/dupublico/79115



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 Lizenz (CC BY-NC 4.0)

how zur Definition und Optimierung von Leistungsanforderungen geprüft werden [8], um die nachgewiesenen positiven Effekte einer partnerschaftlichen Projektabwicklung zu nutzen [6, 9]. Da sich Änderungen in frühen Planungsphasen deutlich weniger auf Kosten und Ausführungsdauer auswirken als Änderungen in der Bauphase, ist die Nutzung von Ausführungskompetenz in frühen Planungsphasen besonders sinnvoll [10], da so kostspielige Planungsfehler und das Übersehen von Risiken minimiert werden können [11]. Die Einbindung der ausführenden Unternehmen in die Planungsphase wird als Early Contractor Involvement (ECI) bezeichnet [12, 13]. Diese Abwicklungsform wird im europäischen Ausland bereits erfolgreich angewendet [14]. Die in der gegenständlichen Arbeit behandelten Forschungsfragen sind:

1. Welche Kriterien müssen für einen erfolgreichen Einsatz von ECI erfüllt sein?
2. Welche Vergabemodelle stehen öffentlichen Auftraggebern für die Implementierung des ECI zur Verfügung?
3. Welche Arten und Ausprägungen des ECI stehen öffentlichen Auftraggebern in Deutschland zur Verfügung und worin unterscheiden sich diese?

## 2 Methodik

Eine systematische Literaturanalyse wurde durchgeführt, um die Arten und Ausprägungen von ECI zu identifizieren. Mit Hilfe von drei Suchstrings wurde in den Suchmaschinen Scopus, SpringerLink und Google Scholar sowie in ResearchGate nach Literatur gesucht. Die gleichen Suchstrings wurden auch auf den Plattformen ResearchGate und Academia.eu verwendet. Die Anzahl der Treffer wurde durch die Einschränkung der Suchparameter auf den Bereich Bauwesen reduziert. Durch Sichtung der Abstracts wurde die tatsächlich relevante Literatur identifiziert. Durch eine Auswertung dieser gesammelten Publikationen konnte weitere thematisch passende Literatur ergänzt werden.

Im Zuge der Literatursauswertung können die Formen des ECI gesammelt werden. Die Formen der ECI werden nach dem Zeitpunkt ihres Einsatzes im Projekt unterteilt. Anschließend werden die rechtlichen Rahmenbedingungen und Voraussetzungen der jeweiligen Form untersucht. Parallel dazu werden Faktoren identifiziert, die eine erfolgreiche Umsetzung des Early Contractor Involvement begünstigen. Diese Faktoren werden auf ihre Umsetzbarkeit für öffentliche Auftraggeber geprüft. Anhand der identifizierten Faktoren können Projekte identifiziert werden, die grundsätzlich für ein Early Contractor Involvement geeignet sind. Ein Abgleich der rechtlichen und projektbezogenen Rahmenbedingungen mit den Anforderungen an die Formen des ECI und den Erfolgsfaktoren identifiziert die für öffentliche Auftraggeber relevanten Abwicklungsformen.

## 3 Hintergrund und Rahmen

Der traditionellen Projektabwicklung fehlt ein gemeinsames und einheitliches Projektverständnis sowohl auf Auftragnehmer- als auch auf Auftraggeberseite. Dies führt zu Missverständnissen, Risiken können nicht rechtzeitig erkannt und behandelt werden. Dies ist zum Teil auf die strikte Trennung von Planung und Ausführung zurückzuführen [15]. Es besteht ein grundsätzlicher Zielkonflikt im Zweiparteiensystem zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Bauausführende Unternehmen sind an einer Gewinnmaximierung interessiert, Auftraggeber nur an einer bestmöglichen Leistungserfüllung innerhalb der vorgegebenen Rahmenbedingungen bei minimalen Kosten [16]. Dieser Zielkonflikt wird durch eine Informationsasymmetrie zugunsten des Auftragnehmers verschärft. Überträgt man die Situation bei Bauprojekten auf die Prinzipal-Agenten-Theorie, so wird der Informationsvorsprung gemäß der Theorie immer zum eigenen Vorteil ausgenutzt [16, 17]. Neben der Prinzipal-Agenten-Theorie beschreibt das Hold-Up-Problem ein ebenfalls in der Bauwirtschaft häufig auftretendes Problemszenario: Bei Vertragsabschluss sind die tatsächlichen Beweggründe und Motive der Vertragsparteien einander nicht bekannt, was zu opportunistischem Verhalten in der ex-post Vertragsphase führen kann. Durch den „Lock-in-Effekt“ können Abhängigkeiten ausgenutzt werden [18].

Nister (2005) beschreibt den Aufbau von Vertrauen als Lösungsansatz für das Agency-Problem [17]. Eine frühzeitige Einbindung von Bauunternehmen, insbesondere bei als komplex eingestuften Projekten, verspricht tendenziell einen hohen Nutzen [15]. Darüber hinaus kann auf diese Weise das Know-how der Bauunternehmen bereits in der Planungsphase genutzt werden. In Deutschland wird die Einbeziehung der Ausführungskompetenz in die Planungsphase im Rahmen von Partnering-Modellen diskutiert [19]. Ein Modell, oft auch als Methode bezeichnet, das im inner- und außereuropäischen Ausland regelmäßig erfolgreich zur Nutzung von Unternehmer-Know-how in der Planungsphase eingesetzt wird, ist das Early Contractor Involvement [13, 14]. Die Durchführung eines ECI kann folgende Aspekte fördern: Einsatz innovativer Fertigungsverfahren; Verständnis, Minderung und Management von Risiken; Reduzierung von Komplexität, Streitigkeiten und Nachtragsmanagement; Kooperation aller Beteiligten; termingerechte Fertigstellung innerhalb des Budgets [11]. Die Abwicklung des ECI kann verschiedene Formen annehmen. Es tritt sowohl als Vertragsmodell, als Element einer Projektabwicklungsform oder als Vergabeform auf [20]. In der privaten Bauwirtschaft wird eine Form des ECI unter der Bezeichnung „Preconstruction“ in Deutschland bereits angewendet [21].

## 4 Early Contractor Involvement

### 4.1 Begriffsverständnis

Early Contractor Involvement ist in den 90er Jahren im Zusammenhang mit Projektallianzen entstanden. Den Begriff des Early Contractor Involvement kommt in jedem Land eine leicht differente Bedeutung zu. Grundsätzlich wird unter ECI die Einbindung von Bauunternehmen in die frühen Planungsphasen eines Projektes verstanden. In Australien liegt der Fokus der Kollaboration zwischen Auftraggeber, Planern und Auftragnehmern auf den frühen Projektphasen. Mit zunehmendem Projektfortschritt entwickeln sich die Beziehungen in Richtung konventioneller und traditioneller Modelle. Im Vereinigten Königreich bleibt der kollaborative Charakter der Beziehungen während der gesamten Projektabwicklung erhalten [22]. In beiden Nationen ist das ECI einerseits regelmäßig ein zweistufiges Verfahren, andererseits kann das ECI ein Element einer anderen Projektabwicklungsmethode sein oder als eigenständiges Projektabwicklungsmodell etabliert werden. Darüber hinaus umfasst der Begriff Early Contractor Involvement sowohl alle Varianten der Einbindung von Bauunternehmen in der Projektinitiierungsphase, zum Beispiel als in beratender Funktion, als auch die Prüfung einer vollständigen Planung durch Bauunternehmen vor der Ausführungsphase mit anschließender Ausführung [23].

Meist wird unter ECI jedoch ein zweistufiges Verfahren nach Erteilung der Baugenehmigung mit einem minimalen Planungsstand verstanden. In der ersten Phase wird ein Bauunternehmen nach vom Auftraggeber festgelegten Kriterien ausgewählt. Ein Preis für die zu erbringende Bauleistung wird hier nicht abgefragt, jedoch können Zuschläge für allgemeine Geschäftskosten und Gewinn als Entscheidungskriterien herangezogen werden. Ebenso können Kalkulationsbeispiele, Ausführungskonzepte oder Partneringkonzepte vom Auftraggeber angefordert und bewertet werden. Nach der Auswahl des Bauunternehmens erfolgt die Planung in der zweiten Phase. Diese kann gemeinsam mit dem Bauunternehmen oder durch dieses erfolgen. In der Planungsphase wird der Preis für die Bauleistung gemeinsam ermittelt. Bemerkenswert ist, dass nach der gemeinsamen Planung nicht zwangsläufig eine Fortführung der Geschäftsbeziehung erfolgen muss. Abhängig von den zu Beginn getroffenen vertraglichen Vereinbarungen kann sich der Auftraggeber auch gegen eine Folgebeauftragung oder für eine Beendigung der Zusammenarbeit entscheiden [24, 25].

Der Begriff Early Contractor Involvement wird in Deutschland kaum verwendet. Lediglich im Zusammenhang bzw. als Teil innovativer Projektabwicklungsmodelle wie IPA taucht er mittlerweile regelmäßig auf. Unter den Begriffen „Nutzung von Unternehmer-Know-how“, „Einbeziehung von Ausführungskompetenz in der Planungsphase“, die u.a. in Partnerschaftsmodellen verwendet werden, wird

auch die Einbeziehung von bauausführenden Unternehmen in die Planungsphase verstanden, um deren Wissen für den Auftraggeber nutzbar zu machen [19, 24, 26, 27]. Eine treffende Definition des ECI liefert die Arbeitsgruppe 194 der World Association for Waterborne Transport Infrastructure in ihrem 2022 veröffentlichten Leitfaden. Hier wird das ECI als eine Strategie beschrieben, die sich von Projekt zu Projekt, von Auftraggeber zu Auftraggeber, von Projektrahmenbedingungen, Budget oder Zeithorizont etc. unterscheidet. Das ECI ist somit die projektspezifische Strategie zur sinnvollen Einbindung von ausführenden Unternehmen in einer frühen Projektphase. Der Zeitpunkt, die Tiefe der Einbindung sowie der Umfang der Zusammenarbeit variieren von Projekt zu Projekt. Die Eckpunkte der ECI-Strategie bilden gleichzeitig den Rahmen für die Ausgestaltung des angewandten ECI-Modells [28].

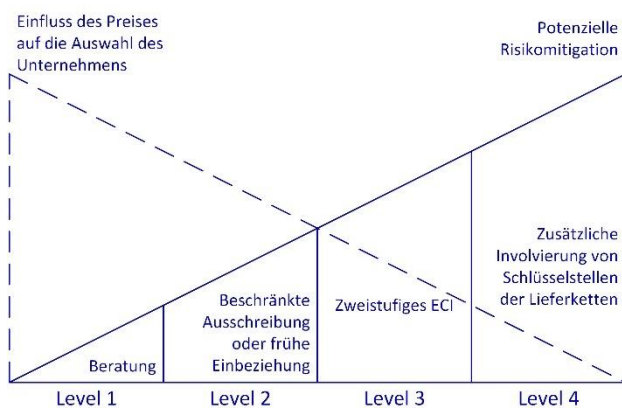
### 4.2 Vorteile des ECI

Der Einsatz des ECI hat das Potenzial, zahlreiche Vorteile in und für die Projektabwicklung zu generieren. Die Anwendung des ECI allein führt jedoch nicht automatisch zum Projekterfolg. Die Vorteile und der Nutzen des ECI müssen aktiv erarbeitet werden. Sie sind abhängig vom Engagement der Projektbeteiligten, ihren Kapazitäten, ihren Organisationsstrukturen und nicht zuletzt ihrem Willen, die gesteckten Ziele zu erreichen [28, 29]. Der gegenseitige Nutzen und die damit verbundene intrinsische Motivation zur Teilnahme am Early Contractor Involvement kann nur generiert werden, wenn die Projektbeteiligten zum richtigen Zeitpunkt in das Projekt eingebunden werden und eine Kompensation für die Bereitstellung von Know-how erfolgt [28, 30]. Durch die Anwendung des Early Contractor Involvement können unter anderem folgende Aspekte positiv gefördert werden [11, 28]:

- gegenseitiges Projektverständnis
- Reduzierung der Komplexität
- Reduzierung von Streitigkeiten und Nachtragsmanagement
- Förderung der Zusammenarbeit und des Vertrauens aller Beteiligten
- Verlässliche Angaben zu Kosten und Ausführungszeiten
- Faire Abwicklung innerhalb des Budgets
- Einsatz innovativer und nachhaltiger Produktionsmethoden
- Initiierung eines von allen Beteiligten akzeptierten und getragenen Risikomanagements:
  - Risiken abfedern
  - Risikoteilung statt Risikozuweisung durch den AG
  - Kostentransparenz

### 4.3 Arten des ECI

Im Rahmen der systematischen Literaturanalyse wurden 35 verschiedene Varianten der frühzeitigen Einbindung von Ausführungskompetenz in ein Bauprojekt identifiziert. Die Varianten treten in unterschiedlicher Häufigkeit auf, einige wurden in der Praxis nur einmal angewandt, andere wurden in der Literatur mehrfach erwähnt. Aufgrund des hohen Umsetzungsaufwandes und der geringen Anzahl praktischer Umsetzungen sowie fehlender Erfahrungsberichte kann die Häufigkeit der Nennung nicht zur Kategorisierung herangezogen werden. Alle identifizierten Varianten lassen sich jedoch nach Zeitpunkt, Art, Umfang und Einfluss des Preises auf die Auswahl des Auftragnehmers unterscheiden. **Bild 1** stellt die Tiefe der Involvement und den Einfluss des Preises anhand der Unterscheidung von vier Stufen dar. Level 1 weist die geringste Tiefe und den geringsten Umfang der Zusammenarbeit auf. Ein Bauunternehmen wird in beratender Funktion in die Projektplanung einbezogen. Auch die öffentliche Bekanntmachung eines Großprojektes oder die Mitwirkung bei der Ausschreibung durch die Beantwortung von Bieterfragen fallen in diese Kategorie. Das ausschlaggebende Kriterium für die Auswahl des Bauunternehmens in Level 1 ist der Preis.



**Bild 1** Early Contractor Involvement Level nach [28]

Level 2 umfasst Modelle, bei denen ausgewählte Unternehmen zur Angebotsabgabe aufgefordert werden und ein intensiver Austausch zwischen Auftraggeber und Bieter stattfindet. Hier kann bereits eine Planung durch den Auftragnehmer erfolgen. Eine funktionale Ausschreibung wäre Level 2 zuzuordnen. Level 3 umfasst die Arten von ECI, bei denen die Auswahl des Auftragnehmers in einem zweistufigen Verfahren erfolgt und die Planung gemeinsam durchgeführt wird. In Level 4 wird neben der Ausführungskompetenz des Bauunternehmens auch das Know-how weiterer Schlüsselunternehmen der Lieferkette genutzt. Von Level 1 zu Level 4 nimmt die Bedeutung des Baupreises für die Auswahl der Projektpartner ab, während gleichzeitig die Risikomitigation von Level 1 zu Level 4 zunimmt.

### 4.4 Erfolgskriterien

Das Early Contractor Involvement ist nicht für jedes Projekt und jeden Auftraggeber geeignet. Zunächst ist der richtige Zeitpunkt entscheidend. Weiter muss dem Auftragnehmer das Einbringen seiner Ausführungskompetenz ausreichend vergütet werden. Nur so kann ein Anreiz geschaffen werden, Know-How an den Auftraggeber zu transferieren. Neben gegenseitigem Vertrauen, wie in Partnering Modellen, muss sowohl der Auftragnehmer die fachliche Qualifikation haben die Planung durchzuführen oder zu bewerten als auch der Auftraggeber über ausreichend Kompetenz und Kapazität verfügen. Darüber hinaus muss ein Konsens über eine faire Risikoteilung grundlegend verankert werden. Dementsprechend ist ein effektives, effizientes und nachhaltiges Risikomanagement, das im ECI entwickelt und in der Bauausführung fortgeführt wird. Auch muss das Projekt eine gewisse Komplexität und ein gewisses Investitionsvolumen aufweisen, um den erhöhten Aufwand in der Planungsphase zu rechtfertigen [28, 29, 31–34].

## 5 Vergabeverfahren

Das Volumen der Bauleistungen, für die eine ECI sinnvoll ist, liegt in der Regel oberhalb des Schwellenwertes für eine europaweite Ausschreibung. In dieser Ausarbeitung wird davon ausgegangen, dass auch für die Ausschreibung eines ECI eine europaweite Ausschreibung erforderlich ist. Hierfür stehen gemäß § 119 Abs. 1 Nr. 3-7 GWB fünf Verfahrensarten zur Verfügung: das offene Verfahren, das nicht offene Verfahren, das Verhandlungsverfahren, der wettbewerbliche Dialog und die Innovationspartnerschaft. Eine Konkretisierung der Regelungen erfolgt in der VgV und der VOB/A [3].

Soll ein ECI durchgeführt werden, ist bei der Wahl des Vergabeverfahrens zu beachten, dass der Preis nicht das alleinige Entscheidungskriterium sein darf. Es muss ein Verfahren gewählt werden, das eine Entscheidung auf Basis anderer Kriterien zulässt. Für eine Vergabe im Sinne des ECI kommen daher nur der wettbewerbliche Dialog und das Verhandlungsverfahren in Frage.

## 6 ECI für öAG in Deutschland

Abgesehen von einer öffentlichen Bekanntmachung eines Großprojektes, die nur darauf abzielt das Interesse von Baufirmen bei einer später folgenden Ausschreibung zu wecken, besteht für öffentliche Auftraggeber derzeit keine Möglichkeit Bauunternehmen auf dem Level 1 in die Planung einzubinden. Unter Level 2 fallen Arten der Projektabwicklung und Ausschreibung wie die Funktionale Ausschreibung. Diese steht öffentlichen Auftraggebern natürlich zur Verfügung, jedoch geht durch die Anwendung dieser Modelle sein Einfluss auf die Planung verloren. Zwar wird die Ausführungskompetenz zu einem frühen Planungsstand hinzugezogen, jedoch nicht in der Art und



Weise, wie es im geläufigen Verständnis von ECI gedacht ist. Die „beschränkte Ausschreibung“ des Level 2 kann auf einen „Teilnahmewettbewerb mit anschließendem nicht offenen Verfahren“ hinzugerechnet werden, wenn Optimierungsvorschläge der Bieter Teil der Ausschreibung werden. Eine ECI im eigentlichen Sinn wird so jedoch nicht erreicht. Erst eine Umsetzung deines Modells des Level 3 stellt ein ECI im eigentlichen Sinne dar. Diese wird im Rahmen innovativer Projektabwicklungsmodelle wie IPA abgebildet. Diese innovativen Modelle werden aktuell in Pilotprojekten getestet und evaluiert. Zusätzlich zur Ausführungskompetenz noch das Know-How von Schlüsselunternehmen der Lieferkette in die Planung miteinzubeziehen, wie es das Level 4 des ECI beschreibt, ist zum gegenwertigen Zeitpunkt zu Kapazitätsbinden und Komplex für öffentliche Auftraggeber. Diese ECI-Varianten werden z.B. von privaten Bauherren beim Bau von Bohriseln angewandt [12, 20, 28, 35–37].

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Das ECI ist nur für die Abwicklung großer und komplexer Projekte geeignet, da es einen erheblichen Mehraufwand in Ausschreibung und Planungsphase mit sich bringt. Darüber hinaus muss der Auftraggeber ausreichend Eigenkompetenz und Ressource zur Verfügung stellen und das Einbringen der Ausführungskompetenz hinreichend vergüten, um ein Projekt erfolgreich mit dem ECI durchführen zu können. Die gesetzlichen Regelungen in Deutschland lassen für öffentliche nur zwei Vergabeverfahren zur Implementierung eines ECI zu. Es lässt sich dennoch feststellen, dass die frühe Einbeziehung von Bauunternehmen in die Planungsphase durch öAG grundsätzlich möglich ist. Forschungsbedarf besteht ebenso bei den Auswahlkriterien für ein ECI sowie den genauen Ablauf eines Vergabeverfahrens für ein ECI. Mit Hinblick auf die transparente Abrechnung mit open-Book sollte die gemeinsame Kalkulation, der Aufbau des gemeinsamen Risikomanagements und die Risikozuteilung während des ECI eingehend untersucht und beschrieben werden.

## 8 Acknowledgements

Die Autoren Carl Philipp Friedinger und Simon Christian Becker des Forschungsprojekts DigiPeC bedanken sich für die Förderung bei dtec.bw – Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr.

## 9 Literatur

- [1] Oberlandesgericht Düsseldorf, *Urteil vom 25.02.2003, Az. 21 U 44/02 (REWIS RS 2003, 4220)*.
- [2] H. Effer, „München: 2. Stammstrecke wird teurer und verzögert sich um Jahre,“ *Süddeutsche Zeitung*, 29. Juni 2022. <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/muenchen-zweite-stammstrecke-fertigstellung-kosten-1.5612004> (Zugriff am: 12. Juni 2023).
- [3] W. Breyer, A. Boldt und S. Haghsheno, *Alternative m Einheitspreisvertrag für die Vergabe von Bauleistungen durch die öffentliche Hand* (Forschungsprogramm: Zukunft Bau, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums des Inneren, für Bau und Heimat), 2020.
- [4] S. C. Becker und H. Roman-Müller, *Integrierte Projektabwicklung (IPA): Schnelleinstieg für Bauherren, Architekten und Ingenieure* (essentials). Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022.
- [5] S. C. Becker und C. P. Friedinger, „Application of Alternative Contracting Methods for Large Infrastructure Projects as example Project Alliancing,“ in *Sustainable Mobility Infrastructure (Porto, 2022)*, Porto, ICPMA, Hg., 2022.
- [6] C. P. Friedinger, P. Sander, S. C. Becker und T. Villinger, *Analyse und Gegenüberstellung der Vortriebsdauern von Einheitspreisvertrag und Allianzvertrag beim Druckwasserstollen des Projektes Gemeinschaftskraftwerk Inn: Forschungsbericht*. Neubiberg, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://athene-forschung.unibw.de/?id=144664>
- [7] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hg., „Reformkommission Bau von Großprojekten Endbericht: Komplexität beherrschen - kostengerecht, termintreu und effizient,“ Berlin, 2015. Zugriff am: 24. August 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/reformkommission-bau-grossprojekte-endbericht.html>
- [8] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hg., „Leitfaden Großprojekte,“ Berlin, 2018. Zugriff am: 24. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/bregde/service/publikationen/leitfaden-grossprojekte-855468>
- [9] P. Sander, S. C. Becker, C. P. Friedinger, S. Riemann, M. Ditandy und M. Spiegel, „Risikomanagement bei Großprojekten im Tunnelbau: Teil 3: Gestaltung von Anreizmechanismen für die Integrierte Projektabwicklung,“ *tunnel*, Jg. 2022, Nr. 04, S. 12–23, 2022. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.tunnel-online.info/de/artikel/tunnel\\_Gestaltung\\_von\\_Anreizmechanismen\\_fuer\\_die\\_Integrierte\\_Projektabwicklung\\_3816274.html](https://www.tunnel-online.info/de/artikel/tunnel_Gestaltung_von_Anreizmechanismen_fuer_die_Integrierte_Projektabwicklung_3816274.html)
- [10] Construction Users Roundtable (CURT), Hg. *Collaboration, integrated information and the project lifecycle in building design, construction and operation* (WP-1202). Cincinnati, OH, 2004. Zugriff am: 8. September 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://kcuc.org/wp-content/uploads/2013/11/Collaboration-Integrated-Information-and-the-Project-Lifecycle.pdf>

- [11] J. Bourn, *Estimating and Monitoring the Costs of Building Roads in England* (321). London: NAO Information Centre, 2007.
- [12] D. Mosey, *Early contractor involvement in building procurement: Contracts, partnering and project management*. Chichester, West Sussex: Ames Iowa, 2009. [Online]. Verfügbar unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781444309867>
- [13] D. Kinlan und K. Willems, „Applying early contractor involvement in marine infrastructure procurement,“ *TERRA ET AQUA*, Nr. 169, S. 6–17, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iadc-dredging.com/wp-content/uploads/2023/03/terra-et-aqua-169-complete-spread.pdf>
- [14] R. Eadie und M. Graham, „Analysing the advantages of early contractor involvement,“ *IJPM*, Jg. 7, Nr. 6, 2014, Art. Nr. 64971, doi: 10.1504/IJPM.2014.064971.
- [15] S. Haghsheno, „Integrierte Projektabwicklung in Mehrparteiverträgen,“ Tagung „Bauen statt Streiten“ [Online]. Verfügbar unter: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.bauindustrie-bayern.de/fileadmin/Webdata/Themen/20200213\\_Tagung\\_Bauen\\_statt\\_Streiten/2020\\_02\\_13\\_Haghsheno\\_IPA\\_-\\_Bauindustrie\\_Bayern\\_Hessen\\_Thueringen\\_-\\_bauen\\_statt\\_streiten.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.bauindustrie-bayern.de/fileadmin/Webdata/Themen/20200213_Tagung_Bauen_statt_Streiten/2020_02_13_Haghsheno_IPA_-_Bauindustrie_Bayern_Hessen_Thueringen_-_bauen_statt_streiten.pdf)
- [16] S. Faber, *Entwicklung eines Partnering-Modells für Infrastrukturprojekte: Ein Beitrag zur Optimierung der Abwicklung von Bauprojekten im öffentlich finanzierten Infrastruktursektor in Deutschland* (Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2013) (Schriftenreihe Projektmanagement 17). Kassel: Kassel Univ. Press, 2014.
- [17] O. Nister, *Die baubetrieblichen und bauökonomischen Aspekte des Vertragswesens der Projektentwicklung aus der Sicht „Unvollständiger Verträge“* (Zugl.: Dortmund, Univ., Diss., 2005). Dortmund, 2005.
- [18] A. Picot, H. Dietl und E. Franck, *Organisation: Eine ökonomische Perspektive*, 1. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1998.
- [19] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V., Hg., „Partnering bei Bauprojekten - Langfassung,“ 2005.
- [20] D. H. Walker und B. Lloyd-Walker, „Understanding early contractor involvement (ECI) Understanding early contractor involvement (ECI) procurement forms,“ in *Proceedings 28th Annual ARCOM Conference: 3-5 September 2012, Edinburgh, UK*, S. D. Smith, Hg., UK: Association of Researchers in Construction Management, 2012, S. 877–887.
- [21] Smart Construction. „Realisierung – Smart Construction.“ <https://www.smart-construction.de/realisierung> (Zugriff am: 13. Juni 2023).
- [22] T. Buchal, „Early Contractor Involvement (ECI) and its Implementation,“ Technische Universität Prag, Prag, 2014.
- [23] T. O. Malvik, P. Wondimu, B. T. Kalsaas und A. Johansen, „Various Approaches to Early Contractor Involvement in Relational Contracts,“ *Procedia Computer Science*, Jg. 181, S. 1162–1170, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.313.
- [24] S. Riemann, *Ansätze zur Nutzung des Unternehmer-Know-hows bei öffentlich finanzierten Infrastrukturprojekten in Deutschland mit besonderem Fokus auf der Planungsphase* (Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2014) (Schriftenreihe Projektmanagement H. 18). Kassel: Univ. Press, 2014.
- [25] G. Karasek, „Bauvertrag: Klassisches Modell oder...?,“ in *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2021, S. 511–525. [Online]. Verfügbar unter: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-34107-7\\_24](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-34107-7_24)
- [26] K. Eschenbruch, Hg. *Partnering in der Bau- und Immobilienwirtschaft: Projektmanagement- und Vertragsstandards in Deutschland* (Handbücher Rechtswissenschaften und Verwaltung). Stuttgart: Kohlhammer, 2008. [Online]. Verfügbar unter: [http://www.content-select.com/index.php?id=bib\\_view&ean=9783170295797](http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783170295797)
- [27] G. Girmscheid, „Partnerschaften und Kooperation in der Bauwirtschaft. Chance oder Irrweg?,“ *Der Bauingenieur*, Nr. 80, S. 103–113, 2005.
- [28] PIANC, *A framework for a early contractor involvement in infrastructure projects* (Bulletin / Permanent International Association of Navigation Congresses Supplement 67). Brussels: General Secretariat of PIANC, 2022.
- [29] P. A. Wondimu, E. Hailemichael, A. Hosseini, J. Lohne, O. Torp und O. Lædre, „Success Factors for Early Contractor Involvement (ECI) in Public Infrastructure Projects,“ *Energy Procedia*, Jg. 96, S. 845–854, 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.146.
- [30] K. Spang, S. Riemann und S. Faber, *Partnerschaftliche Projektabwicklung bei Infrastrukturprojekten: Feldstudie am Lehrstuhl für Projektmanagement* (Schriftenreihe Projektmanagement H. 8). Kassel: Univ. Lehrstuhl für Projektmanagement, 2009.
- [31] F. Rahmani, M. Khalfan und T. Maqsood, „A Conceptual Model for Selecting Early Contractor Involvement (ECI) for a Project,“ *Buildings*, Jg. 12, Nr. 6, S. 786, 2022, doi: 10.3390/buildings12060786.
- [32] M. Rahman und A. Alhassan, „A contractor's perception on early contractor involvement,“ *Built Environment Project and Asset Management*, Jg. 2, Nr. 2, S. 217–233, 2012, doi: 10.1108/20441241211280855.
- [33] J.-G. Nibbelink, M. Sutrisna und A. U. Zaman, „Unlocking the potential of early contractor involvement in reducing design risks in commercial building refurbishment projects – a Western Australian

perspective," *Architectural Engineering and Design Management*, Jg. 13, Nr. 6, S. 439–456, 2017, doi: 10.1080/17452007.2017.1348334.

- [34] K. B. Narum, A. Engebø, O. Lædre und O. Torp, „Collaborative Project Delivery With Early Contractor Involvement and Target Cost," in *Proc. 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Edmonton, Canada, 2022, S. 984–995, doi: 10.24928/2022/0208.
- [35] P. A. Wondimu, O. J. Klakegg und O. Lædre, „Early contractor involvement (ECI): ways to do it in public projects," *JOPP*, Jg. 20, Nr. 1, S. 62–87, 2020, doi: 10.1108/JOPP-03-2019-0015.
- [36] P. A. Wondimu, A. Hosseini, J. Lohne und O. Laedre, „Early contractor involvement approaches in public project procurement," *JOPP*, Jg. 18, Nr. 4, S. 355–378, 2018, doi: 10.1108/JOPP-11-2018-021.
- [37] S. Laryea und R. Watermeyer, „Early contractor involvement in framework contracts," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law*, Jg. 169, Nr. 1, S. 4–16, 2016, doi: 10.1680/jmapl.15.00012.

# Konzeption der Wirtschaftlichkeitsbewertung von komplexen Bauprojekten in Abhängigkeit von der Projektentwicklungsform

Herr Dipl.-Ing. Benedikt Schmidt, benedikt.schmidt@ibl.uni-stuttgart.de  
Frau Natalie Auch, M. Sc, natalie.auch@ibl.uni-stuttgart.de  
Herr Fabian Geppert, M. Sc, fabian.geppert@ibl.uni-stuttgart.de  
Institut für Baubetriebslehre, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart

## Kurzfassung

Die Baubranche steht aufgrund von Kostensteigerungen für Baumaterialien, Auswirkungen des russischen Überfalls auf die Ukraine sowie des Fachkräftemangels vor großen Herausforderungen. Bereits in den letzten Jahren konnten zahlreiche komplexe Bauprojekte nicht im vorgesehenen Termin- und Kostenrahmen abgewickelt werden. Die aktuellen Entwicklungen lassen befürchten, dass die Einhaltung des Termin- und Kostenrahmens insbesondere bei komplexen Bauprojekten weiter erschwert wird. Als vielversprechender Lösungsansatz für eine gesteigerte Effizienz und dadurch bedingt eine höhere Termin- und Kostenstabilität gelten innovative Projektentwicklungsformen, wie die Integrierte Projektentwicklung (IPA).

Während fachliche und rechtliche Grundlagen zur Anwendung von IPA bereits untersucht [1, 2] und die qualitativen Vorteile von IPA dargestellt wurden, [3, 4] ist eine ganzheitliche Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen in Abhängigkeit der gewählten Projektentwicklungsform für Deutschland noch nicht vorhanden. Hier belegen internationale Veröffentlichungen eine erhöhte Terminstabilität und Kostenreduktionen durch die Integrierte Projektentwicklung [5, 6]. Demgemäß besitzt die Auswahl der Projektentwicklungsform einen signifikanten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von komplexen Bauprojekten, welcher anhand ausgewählter Key Performance Indicator (KPI) charakterisiert werden kann.

In diesem Beitrag wird ein strukturierter Ansatz zur Analyse von komplexen Bauprojekten in Abhängigkeit von der Projektentwicklungsform konzipiert und erläutert, um auf Basis ausgewählter Key Performance Indicator (KPI) eine Wirtschaftlichkeitsbewertung vornehmen zu können.

## Abstract

The construction industry is facing major challenges due to cost increases for construction materials, the effects of the Russian invasion of Ukraine and the shortage of skilled labour. In recent years, numerous complex construction projects could not be completed on time and within budget. Current developments indicate that it will become even more difficult to meet deadlines and costs, especially for complex construction projects. Innovative forms of project delivery, such as integrated project delivery (IPD), are considered to be a promising approach for increasing efficiency and, as a result, for achieving greater stability in terms of deadlines and costs.

While the technical and legal basis for the application of IPD has already been examined [1, 2] and the qualitative advantages of advantages of IPD have been presented, [3, 4] a holistic economic feasibility study depending on the selected form of project delivery is not yet available for Germany. International publications show increased schedule stability and cost reductions through integrated project management [5, 6]. Accordingly, the selection of the form of project delivery has a significant influence on the profitability of complex construction projects, which can be characterized by selected Key Performance Indicators (KPI).

In this paper, a structured approach for the analysis of complex construction projects depending on the project management form is conceptualized and explained in order to be able to perform a profitability evaluation on the basis of selected key performance indicators (KPI).

## 1 Einleitung

Die Baubranche steht derzeit vor großen Herausforderungen: Kostensteigerungen, Auswirkungen des russischen

Überfalls auf die Ukraine sowie der, auch durch den demografischen Wandel bedingte, Fachkräftemangel stehen einer stagnierenden Produktivität gegenüber. Während der dadurch verursachte Investitionsstau insbesondere im Infrastrukturbereich den Wohlstand gefährdet, führt der

DOI: 10.17185/dupublico/79116



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 Lizenz (CC BY-NC-ND 4.0)

hohe Bedarf an neuem Wohnraum, der aufgrund der hohen Baukosten bei gleichzeitig stark gestiegenen Bauzinsen immer weniger gedeckt wird, zu einer immensen gesellschaftlichen Herausforderung. Bereits in den letzten Jahren, als die genannten Herausforderungen noch nicht in der heutigen Ausprägung vorlagen, konnten zahlreiche komplexe Bauprojekte nicht im vorgesehenen Termin- und Kostenrahmen abgewickelt werden. Die aktuellen Entwicklungen lassen befürchten, dass die Einhaltung des Termin- und Kostenrahmens insbesondere bei komplexen Bauprojekten weiter erschwert wird.

Als vielversprechender Lösungsansatz für eine gesteigerte Effizienz und dadurch bedingt eine höhere Termin- und Kostenstabilität werden derzeit innovative Projektentwicklungsformen, wie die Integrierte Projektentwicklung (IPA) in ersten Projekten erprobt. So baut beispielsweise die Deutsche Bahn im Rahmen des Projekts „Neues Werk Cottbus“ zwei Instandhaltungshallen auf Basis des „Partnerschaftsmodell Schiene“, einem von der TU Berlin speziell für die Deutsche Bahn entwickelten Modell für die integrierte Projektentwicklung [7]. Aber auch öffentliche Auftraggeber wie die Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA) als das zentrale Immobilienunternehmen des Bundes, haben sich entschieden „bei der Projektentwicklung neue, innovative Wege zu gehen“. So wird der Neubau des Paul-Ehrlich-Instituts in Frankfurt als Integrierte Projektentwicklung auf Grundlage eines Mehrparteienvertrags realisiert [8].

Während fachliche und rechtliche Grundlagen zur Anwendung von IPA bereits untersucht [1, 2] und die qualitativen Vorteile von IPA dargestellt wurden, [3, 4] ist eine ganzheitliche Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen in Abhängigkeit der gewählten Projektentwicklungsform für Deutschland nicht vorhanden. Hier belegen internationale Veröffentlichungen eine erhöhte Terminstabilität und Kostenreduktionen durch die Integrierte Projektentwicklung [5, 6]. Dabei zeigt sich, dass die Auswahl des Projektentwicklungsform einen signifikanten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von komplexen Bauprojekten besitzt.

In diesem Beitrag soll daher aufgezeigt werden, wie die Wirtschaftlichkeitsbewertung von komplexen Bauprojekten in Abhängigkeit von der Projektentwicklungsform konzipiert werden kann. Dazu wird zunächst der in **Bild 1** dargestellte Ansatz erläutert und anschließend auf die einzelnen Bereiche eingegangen.

## 2 Strukturierter Ansatz

Die Auswertung von Bauprojekten wird zunächst in die drei Bereiche Projektdaten, Wirtschaftlichkeitskennwerte und Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit unterteilt. Der Bereich „Projektdaten“, der in Kapitel 3 ausführlicher dargestellt wird, dient dabei der grundsätzlichen Beschreibung und Bewertung des Projekts: Anhand der Nutzung erfolgt eine erste Projektkategorisierung, wobei mittels

eines Bewertungssystems der Grad der Komplexität bestimmt und die Art der Projektentwicklung erfasst wird. Über den Bereich „Wirtschaftlichkeitskennwerte“, der in Kapitel 4 ausgeführt wird, werden quantitativ messbare Projektdaten bezüglich der Projektqualität sowie der Termin- und Kostenstabilität erfasst. Im Bereich „Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit“, auf den in Kapitel 5 eingegangen wird, sind Faktoren aufgeführt, die lediglich qualitativ bewertbar sind. Hierbei sind insbesondere die Kommunikation innerhalb eines Projekts sowie die Anwendung von Methoden (z. B. des Lean Managements) zu berücksichtigen. Diese Einflussfaktoren können daher mittels eines adäquaten Bewertungssystems analysiert und eingestuft werden.



**Bild 1:** Konzeptionsansatz zur Analyse von Bauprojekten

## 3 Projektdaten

Um unterschiedliche Bauprojekte vergleichen und eine Bewertung in Abhängigkeit der Projektentwicklungsform vornehmen zu können, ist zunächst eine Gruppierung der Projekte notwendig. Diese ermöglicht u. a. den Vergleich von Projekten gleicher Gebäudeart und damit auch eine sinnvolle Bewertung da beispielsweise Hochbau- und Infrastrukturprojekte separat betrachtet werden können.

### 3.1 Nutzung

Eine erste Kategorisierung des Projekts erfolgt über die Art der Nutzung. Hierbei ist in Abhängigkeit von der jeweiligen Untersuchung individuell festzulegen, welche Nutzungsarten betrachtet werden sollen. Dies kann z. B. anhand des Leistungsbildes eines Bauunternehmens, des Portfolios eines Projektentwicklers oder des Tätigkeitsfeldes eines Bauherrn erfolgen. Hierbei kann für den Hochbau bspw. auf die Objektliste für Gebäude nach § 12 HOAI oder bei Eisenbahninfrastruktur auf die Streckenklassen nach EN 15528 zurückgegriffen werden.

Bei der Angabe der Nutzung ist zusätzlich der Projektumfang in Abhängigkeit von der Nutzungsart von Relevanz: Dieser kann bspw. die Nutzfläche in Quadratmetern, den Bruttorauminhalt in Kubikmetern oder die Streckenlänge in Metern umfassen.

### 3.2 Komplexität

Die grundsätzliche Beschreibung eines Bauprojektes als unvergleichbares und einmaliges Produkt, welches mit begrenzten Ressourcen, innerhalb kurzer Zeit und unter vielen Ungewissheiten individuell erstellt wird, führt zu

einem hohen Anforderungsprofil an die Projektbeteiligten im Hinblick auf Entscheidungskompetenz und Koordination.[9, 10] Diese Zuschreibung führt unter anderem dazu, dass sich einige (wissenschaftliche) Arbeiten mit dem Begriff der komplexen Bauprojekte beschäftigen, diesen jedoch nicht weiter definieren. So werden Bauvorhaben teilweise allgemein als komplex eingestuft, aufgrund von veränderlichen Bedingungen wie z. B. der Rechtsprechung oder veränderlicher bautechnischer Gegebenheiten. [10 - 13] Darüber hinaus wird die Frage aufgeworfen ob eine Unterscheidung zwischen komplexen und nicht komplexen Bauvorhaben notwendig ist und der Ansatz der generellen Komplexität eines Bauprojektes sinnvoll erscheint. [14]

Um Projekte hinsichtlich des Zusammenspiels Wirtschaftlichkeit und Projektabwicklungsform zu bewerten, spielt der Aspekt der Komplexitätsbewertung eine essentielle Rolle. Zur Bestimmung der Komplexität von Bauprojekten werden viele Parameter abgefragt, die unter anderem auch einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Projektes haben können (z. B. Einsatz neuartiger Verfahren). Um eine Einschätzung der Projekte zu erhalten wird im Rahmen der folgenden Ausführung ein Vorgehen entwickelt, um die Komplexität von abgeschlossenen Bauvorhaben zu bestimmen. Hierfür wurden nach einer Literaturrecherche im deutschsprachigen Raum die relevantesten Modelle zur Bestimmung der Komplexität untereinander verglichen. Über eine Kreuzmatrix wurden die Inhalte der unterschiedlichen Ausarbeitungen von Pfarr (1984), Patzak (2009), Lange (2015), Hoffmann (2017), Schwerdtner u. a. (2019) und Uhlendorf (2020) hinsichtlich ihrer Inhalte analysiert und zu Kategorien zusammengefasst. Die Auswertung wird im Folgenden vorgestellt.

Alle betrachteten Konzepte basieren auf dem Ansatz der Systemtheorie.[14–19] Die Systemtheorie beschreibt den Sachverhalt, dass zwischen diesen Elementen Beziehungen und Relationen bestehen bzw. auch zwischen (Teil-) Systemen Beziehungen und Zusammenhänge bestehen können.[17] „Ein System besteht aus einer Menge von Elementen, welche Eigenschaften besitzen und welche durch Relationen miteinander verknüpft sind.“[17] Ein Bauvorhaben kann dabei als System bezeichnet werden, wodurch der Bezug auf die Systemtheorie sinnvoll ist. [18]

Pfarr legt bei der Komplexitätsbewertung von Bauprojekten einen frühen Grundstein für darauf aufbauende Ansätze. Nach dieser Theorie ist ein Bauprojekt im Rahmen der Systemtheorie als System zu betrachten indem Beziehungen zwischen unterschiedlichen Elementen sowie zwischen Elementen und der Umwelt bestehen. Dieses vielfältige Beziehungsgeflecht führt je nach Anzahl der Objekte zu einem höheren oder niedrigen Komplexitätsgrad. Allerdings erfolgt seine Einstufung der Komplexität von Bauprojekten durch lediglich drei Merkmale, welche die Objektgröße, den Ablauf von Planung und Realisierung sowie den Grad der Planungsforderungen umfasst. [18]

Insbesondere den Aspekt der „Objektgröße“ unterteilt er über eine Einstufung nach dem Bruttorauminhalt (BRI), was ohne Berücksichtigung von z. B. der Nutzungsart oder der Konstruktionsweise zu einer nur bedingten Vergleichbarkeit der Projekte führt.

Patzak entwickelte ein Scoring-Schema um Projekte hinsichtlich ihrer Komplexität zu beurteilen. Dabei werden die fünf Aspekte Projektziel, Projektgegenstand, Projektaufgabe, Projektausführende und Projektumfeld mit detaillierten Unterkriterien auf einer Skala von 1-5 bewertet. Dieser Ansatz stellt keinen direkten Bezug zu Bauprojekten her, dennoch werden vielfach die gleichen Aspekte berücksichtigt wie bei bauprojektbezogenen Herangehensweisen. Patzak betont jedoch, dass die Messbarkeit von Komplexität letztendlich subjektiv ist. Es existiert kein universell gültiges Maß für Komplexität, da ihre Erfassung in analytischer Betrachtung von einer Vielzahl subjektiver Urteile abhängt, die mit Graubereichen und Unsicherheiten verbunden sind. Um diesem Umstand gerecht zu werden, kann nur durch eine Standardisierung des Messinstruments mittels Festlegung von Gültigkeitsbereichen und Referenzwerten auf der Grundlage von Erfahrung entgegengewirkt werden. [17]

Lange wählt eine nicht zahlenbasierte Herangehensweise mittels einer Matrix um Bauprojekte hinsichtlich der Komplexität zu bewerten. Es werden die fünf übergeordneten Kriterien Projektziel, Projektergebnis, Projektstätigkeiten, Projektteam und Projektstakeholder berücksichtigt. Die Elemente werden dann je nach Dynamik, Abhängigkeiten und Anzahl der Elemente bewertet. Ziel ist eine transparente Darstellung der Bereiche, die in dem jeweiligen Projekt als besonders komplex eingestuft wurden. [16]

Die detailliertere Bewertung liefert Hoffmann in seiner Dissertation. Er bewertet die zehn Indikatoren Ziel, Objekt, Neuartigkeit, Projekt, Methodik, Organisation, Ressourcen, Kultur, Chancen / Risiken und das Umfeld in Hinblick auf die fünf Komplexitätsmerkmale Strukturen, Veränderungen, Wahrnehmung, Verhalten und Umwelt. Die Matrixbewertung führt zur Ermittlung eines zahlenbasierten Komplexitätsgrades. [15]

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Optimierung der Initiierung komplexer Bauvorhaben“ sollten insbesondere komplexe Projekte betrachtet werden. Schwerdtner u. a. führten hierzu eine umfangreiche, ebenfalls literaturbasierte, Recherche durch. Es werden unterschiedliche Ansätze beleuchtet und wesentliche Komplexitätstreiber identifiziert. Hierzu zählen Organisation, Team, Anforderungen an die Planungs- und Bauaufgabe, politische Rahmenbedingungen und interne Stakeholder. Diese wiederum werden zusammengefasst zu Projektaufgabe, Projektmanagement und Projektumfeld. Von einer detaillierteren Bewertung der Komplexität wird Abstand genommen. [14]

In gleicher Weise identifiziert Uhlendorf wesentliche Bestandteile und Eigenschaften des komplexen Systems „Bauprojekt“. Hierzu zählen unter anderem das Beziehungsgeflecht, der Systemzweck, die Selbstorganisation die Systemstruktur und -identität. Nach der Aufführung verschiedener Parameter und Aspekte verzichtet er jedoch auf die Aufstellung eines konkreten Konzeptes zur Komplexitätsbewertung. [19]

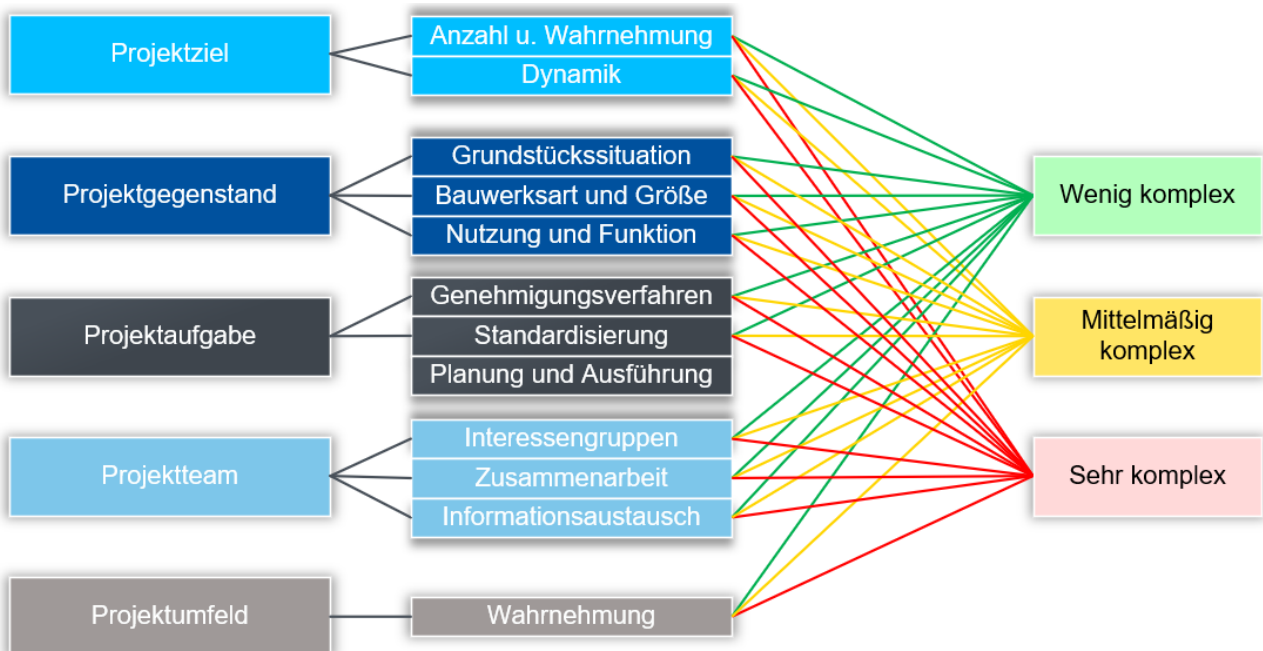
Betreffend der Komplexitätsauswertung haben vier von sechs der berücksichtigten Ansätzen einen konkreten Bezug auf Bauprojekte.[14-15, 18-19] Zwei der sechs Ansätze arbeiten mit einer zahlenbasierten Methode.[15, 17] Über den Vergleich der Ansätze aus der Literatur wurden die fünf Oberkategorien Projektziel, Projektgegenstand, Projektaufgabe, Projektteam und Umwelt identifiziert. Diese setzen sich aus detaillierteren Unterkategorien zusammen, welche wiederum näher beschrieben wurden. In einer Kreuzmatrix wurde dargestellt, welcher Ansatz in welcher Unterkategorie vertreten ist. So konnten die wichtigsten Punkte hinsichtlich der Komplexität von Bauprojekten über die Häufigkeit der Nennung einzelner Aspekte herausgefiltert werden. Eine Unterkategorie wurde dann weiter untersucht, wenn sie in drei oder mehr Ansätzen als Komplexitätsmerkmal genannt wurde. Die herausgefilterten Fragestellungen wurden anschließend hinsichtlich der Sinnhaftigkeit einer Abfrage bewertet.

Die Auswertung zeigt, dass sich komplexe Bauprojekte durch viele unterschiedliche Ziele auszeichnen, die je nach Komplexitätsgrad einer hohen Dynamik unterliegen und teilweise unklar definiert sein können. In der Kategorie

„Projektgegenstand“ werden vor allem die Grundstückssituation, die Bauwerksstruktur, die Nutzungsarten sowie die Projektgröße genannt. Bei letzterem herrscht jedoch Uneinigkeit, was die geeignete Kennzahl zur Bestimmung einer Projektgröße ist. In der Kategorie „Projektaufgabe“ werden Aspekte zum Genehmigungsverfahren sowie zur Standardisierung berücksichtigt. Häufig aufgeführt werden ebenfalls Anforderungen an die Planung und Ausführung, sowie die Projektdauer.

In den Bereichen „Projektteam“ und „Projektumfeld“ tragen vor allem viele unterschiedliche Interessengruppen zur Komplexität bei, die unter anderem auch auf den Austausch von Informationen einwirken. Ebenfalls relevant für die Projektarbeit ist die Fluktuation des Teams. In der Kategorie Projektumfeld findet vor allem die Wahrnehmung der Öffentlichkeit Berücksichtigung. Zwar sind auch die politischen Rahmenbedingungen von Relevanz, allerdings wird dieser Punkt aufgrund einer mangelnden Messbarkeit keine Berücksichtigung finden und nur indirekt in der Unterkategorie Genehmigungsverfahren berücksichtigt.

**Bild 2** zeigt eine schematische Darstellung der final ausgewählten Ober- und Unterkategorien hinsichtlich der Komplexitätsbewertung. Um Projekte einstuft zu können werden zu den jeweiligen Unterkategorien Antwortmöglichkeiten in Form von Ausprägungen vorgegeben. So kann der Grad der Komplexität für die betrachteten Projekte bestimmt und so ein Vergleich ähnlich komplexer Bauprojekte vorgenommen werden.



**Bild 2:** Strukturierten Ansatz zur Analyse von Bauprojekten

### 3.3 Projektentwicklung

Bauherren stehen vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten zur Abwicklung eines Bauvorhabens zur Verfügung, welche die Aufgaben- und Verantwortungsbereiche zwischen den Projektbeteiligten zuordnen. Aus dieser Ausgangssituation haben sich durch die projektspezifische Kombination der Gestaltungskomponenten unterschiedliche Abwicklungsformen für Bauprojekte etabliert und in der Baupraxis zahlreiche Sammelbegriffe für im Detail unterschiedliche Abwicklungsformen gebildet.

Um ein einheitliches Verständnis zu schaffen und eine nachvollziehbare Bezeichnung zu ermöglichen, gilt es daher zunächst die verschiedenen Gestaltungskomponenten einer Projektentwicklungsform zu identifizieren. Weitergehend ist zu definieren, was im Rahmen der vorliegenden Untersuchung unter einer Projektentwicklungsform verstanden wird. Das Ergebnis der hierzu durchgeführten Literaturstudie ist auf der nachfolgenden Seite in Form einer Kreuzmatrix als **Tabelle 1** dargelegt. So wird als Projektentwicklungsform die Kombination von Vergabeart, Vertragsform und Projektorganisationsform verstanden.

Die erste Gestaltungskomponente der Projektentwicklung ist die Vergabeart, welche sich aus der Vergabeform und dem Vergabeverfahren zusammensetzt. Während sich die Vergabeform auf die Bündelung von Planungs- und Bauleistung bezieht, bestimmt das Vergabeverfahren den organisatorischen wie rechtlichen Ablauf von Ausschreibung und Vergabe. Bei öffentlichen Bauvorhaben sind die Vergabeverfahren in Abhängigkeit vom Auftragswert und den geltenden Schwellenwerten durch die VOB/A (EU) geregelt.

Als zweite Gestaltungskomponente kann die Vertragsform identifiziert werden, wobei eine Unterscheidung zwischen Leistungs- und Aufwandsverträgen sinnvoll ist. Die Vertragsform regelt neben der Vergütung weitere wichtige Teilbereiche wie die Risikoallokation sowie wesentliche Rechte und Pflichten der Projektbeteiligten. Konventionelle Leistungsverträge, wie der Einheits- und Pauschalpreisvertrag werden in deutschen Bauprojekten am gängigsten angewandt. Innovativere Vertragsmodelle, wie bspw. Selbstkostenerstattungs-, GMP- sowie Mehrparteienerträge erhalten in den letzten Jahren zwar zunehmende Beachtung, haben sich in der Breite jedoch noch nicht durchgesetzt.

Die dritte Gestaltungskomponente ist die Projektorganisationsform. Diese untergliedert sich in die Projektmanagementform, die Planereinsatzform und die Unternehmereinsatzform. Die Projektmanagementform betrifft die Organisationsstrukturen des Bauherrn durch den Umfang der an Bauherrenvertreter ausgelagerten Leistungen. Die Planereinsatzform und Unternehmereinsatzform resultiert hingegen aus der gewählten Vergabeform und den darin gebündelten Leistungspaketen. In Abhängigkeit von der Bündelung der Planungs- und Bauleistungen ergeben sich verschiedene Formen von Einzelleistungsträgern

(Einzelplaner und Einzelunternehmer) sowie Kumulativleistungsträgern (Generalplaner, Generalunter- und Generalübernehmer sowie Totalunter- und Totalübernehmer). Zusätzlich haben sich in den letzten Jahren unterschiedliche innovative Ansätze und Sonderformen entwickelt, deren Anwendung zumeist auf die Steigerung der Kooperation zwischen den Projektbeteiligten und die frühzeitige Einbindung von Ausführungskompetenz zielt. Auch wenn die im Detail unterschiedlichen Ausprägungen der Ansätze eine trennscharfe Abgrenzung erschweren, werden diese vorliegend unter den Schlagworten Partnering, Alliancing sowie integrierte Projektentwicklung zusammengefasst.

## 4 Wirtschaftlichkeitskennwerte

Die vorgenannten Teilbereiche Nutzungsart, Projektkomplexität und Projektentwicklungsform ermöglichen die eingangs erläuterte Projektbewertung anhand von Projektdaten. Hierauf aufbauend soll nun die Wirtschaftlichkeitsbewertung konzeptioniert werden.

Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist zunächst festzulegen, welche Lebenszyklusphasen eines Bauwerks berücksichtigt werden sollen, um den Umfang der Wirtschaftlichkeitsbewertung festzulegen. So können nur die Kosten für Planung und Ausführung ermittelt werden, zusätzlich auch Folgekosten bei der Nutzung eines Gebäudes einbezogen werden oder sogar der volkswirtschaftliche Nutzen über eine definierte Laufzeit ermittelt und verglichen werden. Die Sinnhaftigkeit des Betrachtungsumfangs hängt hierbei insbesondere von den abgedeckten Lebenszyklusphasen der gewählten Projektentwicklungsform ab.

Zur Ermittlung geeigneter Wirtschaftlichkeitskennwerte wurde internationale und deutschsprachige Literatur ausgewertet. Die identifizierten Wirtschaftlichkeitskennwerte können dabei den drei Kategorien Qualität (vgl. Kapitel 4.1), Termine und Kosten (vgl. Kapitel 4.2) zugeordnet werden. Die einzelnen Werte unterscheiden sich insbesondere in Bezug auf den Detailgrad. Demgemäß ist bei der Auswahl passender Werte die Festlegung des gewünschten Detailgrades von besonderer Bedeutung.

Neben den Rahmenbedingungen und Zielen der Untersuchung ist auch zu berücksichtigen, dass die Daten bei verschiedenen Bauprojekten unternehmensunabhängig erfassbar und vergleichbar sind. Diesbezüglich soll kurz auf den in der Medizin gebräuchlichen Begriff der „Adhärenz“ eingegangen werden. Adhärenz bezieht sich dabei auf die Fähigkeit eines Patienten, ärztliche Anweisungen genau und konsistent zu befolgen, um die bestmöglichen Gesundheitsergebnisse zu erzielen. Um eine möglichst gute Adhärenz zu erreichen sollen Faktoren berücksichtigt werden, die es einem Patienten erleichtern die Anweisungen konsistent zu befolgen, während erschwerende Faktoren vermieden werden.



Gestaltungskomponenten der Projektentwicklung		Quelle																								
		Racky	Cadez	Gralla	Schriek	Tautschnig	Rosenheinrich	Bücker	Diederichs	Weeber / Bosch	Preuß	Gralla	Willwerth	Heidemann	Preuß	Schlabach	Schlabach / Racky	Vocke	Agthe u. a.	Sommer	Landowski	Buday / Mayer	Breyer u. a.	Eschenbruch	Haghsheno u. a.	
		[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]	[26]	[27]	[28]	[29]	[30]	[31]	[32]	[33]	[34]	[35]	[36]	[37]	[38]	[39]	[40]	[41]	
Vergabeart	Vergabeform	Einzelvergabe (Vergabe in Teil- und Fachlosen)	X		X	X	X	X			X	X				X		X	X				X	X		
		Gewerkegruppenvergabe (Teil-GU-Vergabe)	X		X	X	X	X			X					X		X	X	X				X	X	
		Schlüsselfertigvergabe (GU-Vergabe)	X		X	X	X				X	X				X		X	X	X				X	X	
		Bauteam / Bausystemwettbewerb			X	X					X					X										
	Vergabeverfahren	Vergabearten nach VOB/A							X									X				X	X			
		Vergabearten nach VOB/A-EU							X									X				X	X			
Privatrechtliche Vergabe								X									X				X	X				
Vertragsform	Aufwandsverträge	Stundenlohnvertrag											X				X					X	X			
		Selbstkostenerstattungsvertrag (Cost plus fee Vertrag)							X									X					X	X		
	Leistungsverträge	Einheitspreisvertrag		X			X	X	X			X	X		X		X	X					X	X	X	
		Detail-Pauschalvertrag		X			X		X			X	X		X		X	X					X	X	X	
		Global-Pauschalvertrag (einfach / komplex)		X			X	X	X			X	X		X			X					X	X	X	
		Garantierter Maximalpreisvertrag (Cost Target Contracts)					X		X			X	X	X	X			X	X					X	X	
		Mehrparteienvertrag																						X		X
Projektorganisationsform	Projektmanagementform	Keine Bauherrenvertretung												X												
		Projektcontrolling/-steuerung durch Bauherrenvertretung										X	X							X					X	
		Projektmanagement durch Bauherrenvertretung						X					X							X					X	
		Construction Management at agency						X	X			X	X	X					X	X					X	
		General Construction Management / Baupartnermanagement											X							X						X
	Planereinsatzform	Einzelplaner								X			X	X						X	X			X	X	
		Einzelplaner mit Leistungspaketen								X			X							X	X			X	X	
		Generalplaner								X			X	X						X	X			X	X	
	Unternehmereinsatzform	Einzelunternehmer	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Generalunternehmer/-übernehmer ab Ausführungsplanung	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Generalunternehmer/-übernehmer ab Entwurfsplanung	X				X		X		X		X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	
		Generalunternehmer/-übernehmer ab Genehmigungsplanung					X		X		X		X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	
		Totalunternehmer/-übernehmer	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X
		Construction Management at risk							X				X	X	X	X		X	X	X				X	X	
	Innovative Ansätze / Sonderformen	Public Private Partnership														X		X								
		Partnering										X		X	X			X	X					X	X	
		Alliancing												X		X	X							X		X
		Integrierte Projektentwicklung																						X		X

Tabelle 1: Kreuzmatrix zu den Gestaltungskomponenten bei der Projektentwicklungsform

Überträgt man dies auf die Ermittlung von Projektdaten, wird offensichtlich, dass im Rahmen einer kleinen, für einen kurzen Zeitraum angelegten Studie umfangreichere Daten mit höherem Detailgrad ausgewertet werden können, als wenn Projektdaten über einen nicht absehbaren Zeitraum beiläufig im Rahmen des Projektmonitorings bzw. -controllings erfasst werden.

#### 4.1 Qualität

Die Qualität lässt sich während der Projektdurchführung und nach der Fertigstellung auf unterschiedliche Weise ermitteln. Als wesentliche Kennwerte werden im vorliegenden Sachkontext die Anzahl von Planungs- und Ausführungsmängeln und die zusätzlichen Kosten zur Behebung dieser Mängel gewählt.

Für einen adäquaten Vergleich unterschiedlicher Projekte müssen die Kennwerte auf eine weitere Projektkenngröße bezogen werden. Hierbei können zum einen die Daten des Projektumfangs herangezogen und somit in Relation gesetzt werden (bspw. Mängel pro Quadratmeter Nutzfläche). Zum anderen können die Qualitätskennwerte auch in Bezug zu den Kennwerten für Termine und Kosten gesetzt und so vergleichbar gemacht werden (bspw. Kosten für die Mängelbeseitigung als Anteil der Gesamtkosten).

#### 4.2 Termine und Kosten

Die Kennwerte für Termine und Kosten sind gut messbar und quantitativ auswertbar. Die Bewertung erfolgt in beiden Fällen durch einen Vergleich des Soll-Werts mit dem realisierten Ist-Wert.

Die einzelnen Werte unterscheiden sich insbesondere in Bezug auf den Detailgrad, sodass zunächst eine diesbezügliche Festlegung erforderlich ist. In Bezug auf die Termine kann beispielsweise eine Unterteilung in unterschiedliche Projektphasen vorgenommen oder die Gesamtprojektdauer betrachtet werden. Bezüglich der Kosten kann beispielsweise zwischen Planung-, Ausführungs- und Lebenszykluskosten unterschieden oder das Gesamtbudget betrachtet werden.

Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, können auch die Wirtschaftlichkeitskennwerte für Termine- und Kosten auf die Daten des Projektumfangs bezogen werden (bspw. Dauer pro Meter Streckenlänge oder Kosten pro Quadratmeter Nutzfläche).

### 5 Einflussfaktoren

Neben den im vorherigen Kapitel erläuterten, quantitativ bewertbaren Wirtschaftlichkeitskennwerten wurden im Rahmen der durchgeführten Literaturrecherche außerdem Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Bauprojekten identifiziert, die lediglich qualitativ bewertbar sind.

Wie in Kapitel 3.2 für die Komplexität ausführlich dargestellt, lassen sich auch für diese Einflussfaktoren Bewertungssysteme erstellen, die eine Einstufung ermöglichen. Dabei können je nach Zielsetzung der Untersuchung unterschiedliche Einflussfaktoren und Detailgrade umgesetzt werden, wobei auch hier die in Kapitel 4 erläuterte Adhärenz berücksichtigt werden muss.

Für die Konzeption der hierin erfassten Kennwerte werden die Teilbereiche Kommunikation und Methoden festgelegt. Während die Kommunikation die Qualität der Zusammenarbeit sämtlicher Projektbeteiligter und des Informationsflusses adressiert, bezieht sich der Teilbereich Methoden auf die erfolgreiche Umsetzung innovativer Methoden und Werkzeuge (bspw. im Kontext von Lean Construction oder Building Information Modeling). Die Ausgestaltung des Bewertungssystems sowie die Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren ist dabei stark von den Rahmenbedingungen und Zielen der jeweiligen Untersuchung abhängig und individuell festzulegen.

### 6 Fazit und Ausblick

Mit dem vorliegenden Beitrag wird ein Strukturierungsansatz konzeptioniert, der eine Wirtschaftlichkeitsbewertung von komplexen Bauprojekten in Abhängigkeit der Projektabwicklungsform ermöglicht. Anhand von Projektdaten sollen zunächst die Nutzungsart des Bauvorhabens, die Projektkomplexität und die Projektabwicklungsform ermittelt und bewertet werden. Weitergehend dienen die Projektdaten der quantitativen Analyse durch entsprechende Wirtschaftlichkeitskennwerte zu Qualität, Terminen und Kosten. Damit gleichfalls weiche Faktoren in der Wirtschaftlichkeitsbewertung berücksichtigt werden, gilt es die Teilbereiche Kommunikation und Methoden qualitativ einzubeziehen. Dabei kann die Wirtschaftlichkeitsbewertung in Abhängigkeit vom Anwendungszweck für unterschiedliche Untersuchungsschwerpunkte ausgestaltet werden.

Die in diesem Beitrag dargestellte Konzeption ist Teil eines derzeit am Institut für Baubetriebslehre durchgeführten Forschungsprojekts, das auch eine Auswertung von Projektdaten und die Bildung einer Datenbasis vorsieht, anhand derer die Wirtschaftlichkeit zukünftiger Projekte eingestuft werden kann.

### 7 Literatur

- [1] BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Alternative Vertragsmodelle zum Einheitspreisvertrag für die Vergabe von Bauleistungen durch die öffentliche Hand. Bonn, 2020.
- [2] Boldt, A.: Integrierte Projektabwicklung – Ein Zukunftsmodell für öffentliche Auftraggeber? NZBau (2019). 9/2019. S. 547 - 553

- [3] Jünger, H. C.; Scharpf, S.: Effektivität in Projektteams integrierter Projektabwicklungsmodelle mit Mehrparteienverträgen gegenüber konventionellen und partnerschaftlichen Modellen. *Bauingenieur*. (2020). September 2020. S. 299–307
- [4] Scharpf, S.: Projektmanagement von Bauprojekten mit Integriertem Projektabwicklungsmodell mit Mehrparteienvertrag. Dissertation. Institut für Baubetriebslehre, Universität Stuttgart. Stuttgart. (2021)
- [5] Ibrahim, M. W.; Hanna, A.; Kelvet, D.: Quantitative Comparison of Project Performance between Project Delivery Systems. *Journal of Management in Engineering* (2020), Volume 36 Issue 6
- [6] Labib, Y.; Lotfallah, W.; Hanna, A.; Boulos, N.: Development and Application of Performance Index for Comparative Assessment of Public Capital Projects. *Journal of Management in Engineering* (2021), Volume 147 Issue 2
- [7] Deutsche Bahn AG, Neues Werk Cottbus, 2023, <https://www.db-neues-werk-cottbus.com/> [Zugriff am 08.09.2023]
- [8] Paul-Ehrlich-Institut, Neubau, 2023, <https://www.pei.de/DE/institut/neubau/neubau-node.html> [Zugriff am 08.09.2023]
- [9] Kalusche, W.: Planungsentscheidungen des Bauherrn. In: *Deutsches Architektenblatt* (1998), Nr. 7, S. 931–936
- [10] Theißen, R. (Hrsg.): Projektleitung und Bauherrenvertretung für komplexe Bauvorhaben: Rechtsleitfäden für Projektverantwortliche, Bau, Immobilien, Vergabe. Köln: Bundesanzeiger-Verl., 2014
- [11] Hufschmied, P.: Risikomanagement bei komplexen Bauprojekten am Beispiel des Lötchber-Basistunnels. In: Spang, K.; Dayyari, A. (Hrsg.): *Konzepte und Entwicklungen beim Risikomanagement komplexer Bauprojekte*, Schriftenreihe Projektmanagement. Bd. 2. Kasseler Projektmanagement Symposium 2005. Kassel, 2005, S. 99–110
- [12] Leimböck, E.; Iding, A.; Meinen, H. (Hrsg.): *Bauwirtschaft: Grundlagen und Methoden*. 3., erweiterte und aktualisierte Auflage. Wiesbaden; [Heidelberg] : Springer Vieweg, 2017
- [13] Schleicher, M.: *Komplexitätsmanagement bei der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau*. Kassel, Universität Kassel, 2013
- [14] Schwerdtner, P.; Kessel, T.; Roth, C.; Ashrafzadeh, K.; Bucherer, M.; Möhmann, D.; Schippmann, F.; Sonntag, R.; u. a.: *OI BAU - Optimierung der Initiierung komplexer Bauvorhaben*, Forschungsinitiative Zukunft Bau. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019.
- [15] Hoffmann, W. J.: *Zum Umgang mit der Komplexität von Bauvorhaben*. Kaiserslautern, Technische Universität Kaiserslautern, 2017
- [16] Lange, S.: *Komplexität im Projektmanagement: Methoden und Fallbeispiele für erfolgreiche Projekte*. 1. Aufl. 2015. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [17] Patzak, G.: Messung der Komplexität von Projekten. In: *Projektmanagement Aktuell* Bd. 20, Narr Francke Attempto Verlag GmbH + Co. KG (2009), Nr. 5, S. 42–45
- [18] Pfarr, K.: *Grundlagen der Bauwirtschaft*. Essen: Dt. Consulting Verl., 1984
- [19] Uhlendorf, T. (Hrsg.): *Strategien des Komplexitätsmanagements bei Bauprojekten als Basis zur Beherrschung von Änderungen*, Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2020.
- [20] Racky, P.: Entwicklung einer Entscheidungshilfe zur Festlegung der Vergabeform. In: *Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 4*, Nr. 142, Düsseldorf 1997
- [21] Cadez, I.: Risikowertanalyse als Entscheidungshilfe zur Wahl des optimalen Bauvertrags, In: *Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 4*, Nr. 149, Düsseldorf 1998
- [22] Gralla, M.: *Neue Wettbewerbs- und Vertragsformen für die Bauwirtschaft*. Dissertation, Technische Universität Dortmund, Dortmund 1999.
- [23] Schriek, T.: Entwicklung einer Entscheidungshilfe für die Wahl der optimalen Organisationsform von Bauprojekten, Dissertation Universität Dortmund, Berlin 2002
- [24] Tautschnig, A.; Hulka G.: Die besondere Eignung des GMP-Modells für „Fast Track“-Projekte im Hochbau. In: *Bauingenieur* (2002), Oktober 2002, S. 484-492
- [25] Rosenheinrich, H.: Entscheidungshilfe zur Vergabestrategie von Hochbauprojekten, In: *Schriftenreihe Bau- und Immobilienmanagement*, Band 2, Weimar 2003
- [26] Bückler, M.: *Construction Management. Untersuchungen zur Anwendbarkeit der US-amerikanischen Projektabwicklungsform Construction Management at Risk in Deutschland*, Dissertation RWTH Aachen, Aachen 2005
- [27] Diederichs, C. J.: *Immobilienmanagement im Lebenszyklus*, Berlin, Heidelberg 2006
- [28] Weeber, H.; Bosch, S.: *Planung plus Ausführung?*, In: *Bauforschung für die Praxis*, Band 79, Stuttgart, 2006
- [29] Preuß, N.: *Unternehmereinsatzmodell Generalunternehmer auf schmalem Grat zwischen Anspruch und Wirklichkeit*, In: *Projektmanagement- Kompetenztagung Generalunternehmereinsatz und alternative Projektabwicklungsformen*, Berlin 2007
- [30] Gralla, M.: *Der Partnering-Ansatz in den Wettbewerbsmodellen*. In: Eschenbruch, K., Racky, P.: *Partnering in der Bau- und Immobilienwirtschaft, Projektmanagement- und Vertragsstandards in Deutschland*, W. Kohlhammer, Stuttgart, 2008

- [31] Willwerth, M.: Projektorganisation und Finanzierung von Erneuerungsmaßnahmen im Wohnungsbau, Bergische Universität Wuppertal, Wiesbaden 2008
- [32] Heidemann, A.: Kooperative Projektabwicklung im Bauwesen unter der Berücksichtigung von Lean-Prinzipien - Entwicklung eines Lean-Projektabwicklungssystems: Internationale Untersuchungen im Hinblick auf die Umsetzung und Anwendbarkeit in Deutschland, KIT, Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, 2010
- [33] Preuß, N.: Projektmanagement von Immobilienprojekten, Springer Vieweg, Berlin, 2. Auflage, 2013
- [34] Schlabach, C.: Untersuchungen zum Transfer der australischen Projektabwicklungsform Project Alliancing auf den deutschen Hochbaumarkt, Schriftenreihe Bauwirtschaft, kassel university press, 2013
- [35] Schlabach, A., Racky, P.: Identifizierung von Eignungskriterien für den Einsatz der Projektabwicklungsform Alliancing bei Hochbauprojekten auf dem deutschen Baumarkt. Bauingenieur (2013), Oktober 2013, S. 442-451
- [36] Vocke, B.: Organisation von Planung und Bauausführung – Integrale Leistungsbilder für Organisationsplanung, Projektsteuerung und Projektleitung, Dissertation, TU München, 2016
- [37] Aghte, V., Löchner, S., Schmitt, S.: Intelligente Vergabestrategien bei Großprojekten, Springer Vieweg, Berlin, 2016
- [38] Sommer, H.: Projektmanagement im Hochbau mit-BIM und Lean Management, Springer Vieweg, Berlin, 4. Auflage, 2016
- [39] Landowski, D.: Einzel- oder Generalplaner – die optimale Planereinsatzform – Entscheidungsmodell zur Aufbauorganisation von Bauprojekt-Planungsteams, Springer Vieweg, Berlin, 2017
- [40] Budau, M., Mayer, D.: Analyse und Darstellung wesentlicher Bestandteile von Projektabwicklungsformen im Bauwesen, Tagungsband BBB-Assistententreffen 2019
- [41] Breyer, W., Boldt, A., Haghsheno, S.: Alternative Vertragsmodelle zum Einheitspreisvertrag für die Vergabe von Bauleistungen durch die öffentliche Hand, 2020
- [42] Eschenbruch, K.: Projektmanagement und Projektsteuerung für die Immobilien- und Bauwirtschaft: die rechtlichen Grundlagen für Leistung, Vergütung, Nachträge, Haftung, Vergabe und Vertragsgestaltung, 2021
- [43] Haghsheno, S. et. al.: Strukturierungsansatz für das Modell der Integrierten Projektabwicklung (IPA). In: Bauingenieur 97 (2022), Heft 3, S. 63–76.

# Analyse potenzieller Vergütungsmodelle und Anreizsysteme für die Integrierte Projektabwicklung (IPA)

## Analysis of potential compensation models and incentive systems for Integrated Project Delivery (IPD)

Simon Christian Becker, Universität der Bundeswehr München, Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft, 85577 Neubiberg, s.christian.becker@unibw.de

Carl Philipp Friedinger, Universität der Bundeswehr München, Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft, 85577 Neubiberg, carl.friedinger@unibw.de

### Kurzfassung

Die Integrierte Projektabwicklung (IPA) wird momentan in Deutschland als Projektabwicklungsmodell propagiert, welches komplexe Beschaffungsprojekte zu mehr Kosten- und Terminalsicherheit und zu einem partnerschaftlichen Umgang aller Beteiligten führt. Dabei weist die IPA gemäß dem IPA-Zentrum acht Charakteristika auf. Ein Charakteristikum ist das Anreizsystem, das weiter unterteilt wird in: gemeinsam bestätigte Zielkosten, gemeinsame Risikotragung, Erstattung tatsächlich entstandener Kosten, Auszahlung ausgewählter Vergütungsbestandteile, in Abhängigkeit von der Erreichung der Projektziele sowie eingetretener Chancen und Risiken. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf dem Vergütungsmodell und dessen Anreizsystem. Ziel des Beitrags ist es, weitere potenzielle Vergütungsmodelle für die IPA aufzuzeigen und deren Vor- und Nachteile darzustellen. Dabei erweisen sich Vertragsmodelle für die IPA mit einer ausgeglichenen Risikoverteilung als am geeignetsten für dieses Projektabwicklungsmodell. Darunter fallen Selbstkostenerstattungsverträge, die unterschiedliche Anreizsysteme wie z.B. einem Gewinnaufschlag, Zielerreichungsprämie uvm. Weitere Vertragsmodelle sind auch spezielle Pauschalpreisverträge.

### Abstract

Integrated Project Delivery (IPD) is currently being propagated in Germany as a project delivery model that leads complex projects to greater cost and schedule security and to a partnership-based approach between all parties. According to the IPA Center, the IPD has eight characteristics. One characteristic is the incentive system, which is further subdivided into: jointly confirmed target costs, joint risk sharing, reimbursement of costs actually incurred, payment of selected remuneration components, depending on the achievement of project goals and opportunities and risks that have occurred. The focus of this paper is on the compensation model and its incentive system. The aim of the paper is to identify other potential compensation models for IPD and to present their advantages and disadvantages. Contractual models for the IPA with a balanced distribution of risk prove to be the most suitable for this project delivery model. These include cost-reimbursement contracts, which offer different incentive systems such as a profit mark-up, target achievement bonus, and many more. Also special kinds of the Firm Fixed Price Contract.

### 1 Einleitung

Die Integrierte Projektabwicklung (IPA) trifft in Deutschland auf wachsende Nachfrage. Die Summe der aktuell laufenden und bereits abgeschlossenen IPA-Projekte in Deutschland lässt sich auf 17 Stück beziffern [1]. Anwendung findet die IPA insbesondere bei großen bzw. komplexen Projekten. Hierbei soll sie für eine erfolgreiche Abwicklung sorgen und somit das Ziel verfolgen, Kosten- und Terminalsicherheit zu schaffen. Um dies zu erreichen, ist die IPA strukturell mit anderen Charakteristika und Modellbestandteilen versehen, als die traditionelle Projektabwicklung. Hierzu definierte das IPA-Zentrum im Jahr 2022 acht Charakteristika und 21 Modellbestandteile. Zu den acht Charakteristika eines IPA-Projektes zählen [2]:

1. Etablierung eines Mehrparteiensystems,

2. frühzeitige Einbindung der Schlüsselbeteiligten mittels Kompetenzwettbewerb,
3. gemeinsames Risikomanagement,
4. gemeinsame Entscheidungen,
5. Anreizsystem im Rahmen eines Vergütungsmodells,
6. Einsatz kollaborativer Arbeitsmethoden,
7. lösungsorientierte Konfliktbearbeitung und
8. kooperative Haltung der Beteiligten.

Das IPA-Zentrum hält fest, dass alle Modellbestandteile Erfolgsfaktoren für das Gelingen des Projektes sind.

DOI: 10.17185/dupublico/79139



Außerdem wird weiter definiert, dass nur IPA-Projekte solche sind, die auch alle Bestandteile beinhalten [2]. Dabei könnten auch Projekte mittels der IPA durchgeführt werden, welche nicht alle Charakteristika und Modellbestandteile erfüllen.

Als Motivation wird in diesem Beitrag der Schwerpunkt auf das Charakteristikum fünf, Anreizsystem im Rahmen eines Vergütungsmodells, gelegt werden. Zunächst werden die Begriffe Vergütungsmodell und Anreizsystem erläutert werden. Anschließend erfolgt die Beschreibung des Phasenmodells der IPA, um ein Verständnis über die Bearbeitung und Aufgaben im Projektverlauf zu gewinnen. Daraufhin erfolgt eine Analyse hinsichtlich des Charakteristikums fünf und deren Bestandteile, woraus sich das Vergütungsmodell und das Anreizsystem nach IPA-Zentrum ergibt. Danach werden mit einer Literaturanalyse weitere Vergütungsmodelle und Anreizsysteme beschrieben. Abschließend wird eine Einordnung der Vergütungsmodelle und Anreizsysteme in das zuvor beschriebene Phasenmodell vorgenommen. Aufgrund des Umfangs wird das Vergütungsmodell und das Anreizsystem nur auf das bauausführende Unternehmen beschränkt.

## **2 Abgrenzung des Charakteristikums „Anreizsystem im Rahmen eines Vergütungsmodells“**

Zunächst wird eine Begriffsabgrenzung bzw. eine Definition für die Begriffe Vergütungsmodell und Anreizsystem erfolgen. Dies soll zum weiteren Verständnis beitragen und eine dezidierte Betrachtung der Thematik ermöglichen.

### **2.1 Definition: Vergütungsmodell**

Nach Becker und Kramarsch handelt es sich bei einem Vergütungsmodell um die Summe aller vom Unternehmen, auf Grund vertraglicher Vereinbarungen, zu zahlenden materiellen Belohnungen, für die durch die Mitarbeiter erbrachten Arbeitsleistungen. Weiter abstrahiert, ist ein Vergütungsmodell eine Kompensationsmaßnahme, um die Arbeitsleistung eines Mitarbeiters respektive eines Auftragnehmers monetär zu kompensieren [3]. Das heißt, das Vergütungsmodell wird maßgeblich durch den Vertrag geprägt. In diesem wird auch die Vergütung geregelt.

### **2.2 Definition Anreizsystem**

Die Begriffe Anreiz und auch der des Anreizsystems, sind in unterschiedlichen, wissenschaftlichen Disziplinen aufzufinden. Dadurch gibt es eine Vielzahl an Definitionen und Kategorisierungsschemata [4]. Dabei wird zwischen

intrinsischen und extrinsischen Anreizen unterschieden. In diesem Beitrag werden nur die extrinsischen Anreize betrachtet, welche sich in einer monetären Form darstellen [5]. Ein Anreizsystem dient dazu, das Leistungsverhalten z.B. von Mitarbeitern zu beeinflussen [6]. Die Beeinflussung soll das Ziel verfolgen, die Ziele des Mitarbeiters auf die des Unternehmens zu übertragen [7]. Dabei umfasst ein Anreizsystem nicht nur einen singulären Stimulus zur Zielangleichung, sondern mehrere. Diese Faktoren zur Zielangleichung sollten in einem Wirkungsverbund agieren und müssen aufeinander abgestimmt sein, da die einzelnen Anreize in Abhängigkeit zueinander stehen [8]. Beispielsweise wird es nicht möglich sein eine Baumaßnahme zu beschleunigen (das Datum der Fertigstellung) und dabei Kosten einzusparen. Aus diesem Grund ist es wichtig, ein ausgewogenes Anreizsystem zu konzipieren, welches realistisch ist und ausreichend Anreize für die Beteiligten schafft, um an dem Projekt zu partizipieren.

## **2.3 Verständnis des Anreizsystems und Vergütungsmodells**

Nach der Begriffserklärung lässt sich festhalten, dass das Vergütungsmodell den zentralen Bestandteil ausmacht. Hierbei handelt es sich um einen Vertrag, in dem die Vergütung geregelt ist. Teil des Vergütungsmodells ist dabei das Anreizsystem. Je nach Vertrag und Vergütungsmodell kann auch nur ein entsprechendes Anreizsystem gebildet werden.

## **3 Phasenmodell der Integrierten Projektabwicklung**

In Abbildung 1 ist das Phasenmodell der IPA dargestellt. Der Fokus der Beschreibung liegt dabei in der Phase 1: Festlegen Bauherrenprogramm, Phase 2: Gemeinsame Entwicklung der Bauaufgabe und der Phase 3: Abruf der Ausführungsleistung. In der Projektvorbereitung legt der Auftraggebende (AG) die Bedarfsplanung, den Kostenrahmen und grundsätzliche Entscheidungen, hinsichtlich der Integration von weiteren Stakeholdern, fest. Nach dieser Phase und der Entscheidung für die Abwicklung mit der IPA, findet die Auswahl der Projektpartner statt. Die Auswahl der Projektpartner erfolgt dabei nicht nach Preiskriterien, sondern, aufgrund des gering definierten Leistungsgegenstand, anhand einem vorgeschobenen Teilnahmewettbewerb mit anschließendem Verhandlungsverfahren [9].

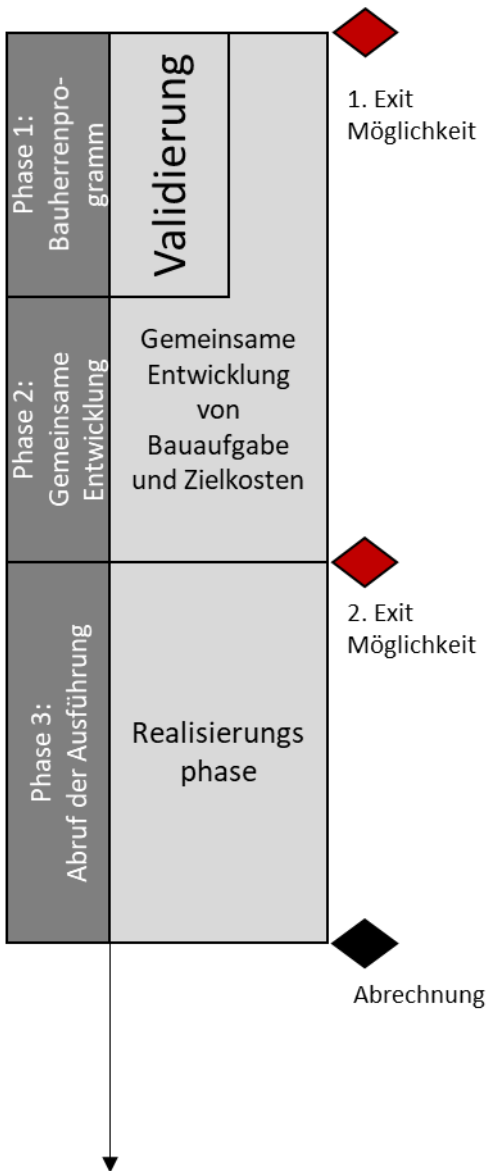


Abbildung 1 Phasenablauf der IPA [9]

In den ersten Phasen wird mit allen Partnern eine Validierung durchgeführt. In dieser Phase liegen lediglich eine Projektbeschreibung und das Budget des Bauherrn vor. Es soll die Realisierbarkeit des Projektes überprüft, die Projektziele und die Bedingungen des Projekterfolgs geklärt und zum Budget abgeglichen werden. Das Ziel dieser Phase ist es, ein gemeinsames Projektverständnis zu schaffen und eine Grundlage für die Basis-Zielkosten sowie für den Terminplan zu erhalten. Am Ende dieser Phasen müssen die ermittelten Kosten und die Terminplanung mit den Zielen des übereinstimmen. Die Ermittlung der Kosten und Termine erfolgt nicht auf Grundlage einer fertigen Planung, es wird kein komplettes architektonisches Konzept erarbeitet. In dieser Phase können auch noch Änderungen bzw. Optimierungen vorgenommen werden. Am Ende der Phase ist das Ergebnis das

Bauherrenprogramm. Der Entscheidungsweg für die weitere Zusammenarbeit sind die Basis-Zielkosten und der Terminplan [9].

Mit Beginn der zweiten Phase, der gemeinsamen Entwicklung der Bauaufgabe, werden die finalen Zielkosten ermittelt. Die Basis-Zielkosten bleiben weiterhin die Grundlage für die Vergütung. Diese sind lediglich ein Meilenstein für die Frage, ob die Basis-Zielkosten und der Terminplan eingehalten werden können. Anschließend folgen die Genehmigungsplanung und die Bauantragsstellung. Sollten die finalen Zielkosten überschritten werden, kann die zweite Exit-Möglichkeit (Möglichkeit zur Beendigung der gemeinsamen Zusammenarbeit) gezogen werden [9].

In Phase drei findet die Ausführung statt. In dieser Phase nehmen die Pläne mehr Details an. Im weiteren Verlauf werden die Kosten verfolgt und die ausgeführten Leistungen abgerechnet [9].

### 3.1 Ablauf und Aufgaben der Beteiligten im IPA-Projekt

In der Phase eins und zwei werden primär Planungsaufgaben und administrative Arbeiten durchgeführt. Diese tragen zur späteren Realisierung bei. In der Phase drei kommt es dann zur physischen Realisierung, wobei das Bauunternehmen dann Bauleistung erbringt.

Das zu erbringende Leistungsspektrum zwischen der Phase 1,2 und 3 ist divergent und somit ist auch für die jeweilige Leistungsverbringung ein anderes Vergütungsmodell und Anreizsystem zu implementieren. Nachfolgend werden die Charakteristika und Modellbestandteile des IPA-Zentrums beschrieben und analysiert.

### 4.1 Betrachtung des Charakteristikums und der Elemente

Das Charakteristikum „Anreizsystem im Rahmen eines Vergütungsmodells“ stellt sich aus vier weiteren Elementen zusammen. Diese vier Modellbestandteile sind [2]:

1. Gemeinsam bestätigte Zielkosten,
2. Gemeinsame Risikotragung,
3. Erstattung tatsächlich entstandener Kosten und
4. Auszahlung weiterer ausgewählter Vergütungsbestandteile in Abhängigkeit der Erreichung der Projektziele und eingetretener Chancen und Risiken.

Nachdem bereits die Begriffe des Anreizsystems und Vergütungsmodells definiert und das allgemeine Vorgehen bei der IPA geklärt wurde, wird im Weiteren nun auf die

einzelnen Elemente der IPA eingegangen. Dabei sollen diese zunächst kurz beschrieben und anschließend die sich daraus ergebende Konsequenzen dargestellt werden. Diese werden respektive die Eingrenzung aufgrund des Elements aufgezeigt.

## 4.2 Element: Gemeinsam bestätigte Zielkosten

Das erste Element ist „gemeinsam bestätigte Zielkosten“. Dieses Element wird nach dem IPA-Zentrum wie folgt definiert: „Auf Basis der vom Bauherrn vorgegebenen Projektziele (Bedarf, Termin, Budget, ...) werden im Rahmen von deren Konkretisierung hin zu den Leistungszielen die Zielkosten von allen Partnern bestätigt. Die Zielkosten beinhalten bei allen beteiligten Planungs- und Bauunternehmen die

- Voraussichtlichen Kosten zur Umsetzung des Projekts (Direkte Kosten),
- die Geschäftskosten,
- die bewerteten Risiken und Chancen und
- die Gewinne.

Die Zielkosten beziehen sich auf alle Kosten, die erforderlich sind, um die Projektziele zu erreichen, mit Ausnahme der Risiken, die dem Bauherrn zugeordnet werden. [2]“ Das erste Element ist eher die Grundlage und gibt vor: wie die Vergütung geregelt ist, welche Kostenstruktur vorliegt und wie mit Risiken umgegangen wird. Mit Vertragsmodellen nach der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen (VOB/A-EU<sup>1</sup>) wäre dieses Vergütungsmodell nur mittels einem Selbstkostenerstattungsvertrag und einem Anreizmechanismus zu realisieren. Ein Pauschalvertrag würde nicht in Frage kommen, da dieser keinen Leistungsanreiz beinhaltet, wohingegen in anderen Ländern wie z.B. den United States of America (USA) durchaus auch Vertragsmodelle mit Pauschalen und zusätzlichen Leistungsanreizen verwendet werden. Diese Vertragsmodelle werden im folgenden Kapitel 5 näher betrachtet.

## 4.3 Element: Gemeinsame Risikotragung

Bei dem Element der gemeinsamen Risikotragung hat das IPA-Zentrum folgende Abgrenzung getroffen: „Eingetretene Risiken werden, sofern sie nicht dem Bauherrn zugeordnet wurden, in Form der tatsächlich entstehenden Kosten abgerechnet“ [2]. Durch die Wahl dieses

Kriteriums findet ein Ausschluss der Vergütungsmodelle, des Einheitspreisvertrages und des Pauschalpreisvertrages statt. Bei einem Einheitspreisvertrag kalkuliert der Auftragnehmer (AN) bereits in die Bauleistung einen Risikozuschlag mit ein. Er bekommt keine zusätzliche Vergütung sollte ein Risiko eintreten, welches von ihm verursacht wird. Bei Pauschalverträgen, unabhängig der Leistung (Bau- oder Planungsleistung), erfolgt eine Risikoübertragung immer auf den AN. Tritt ein Risiko ein, wird der AN dieses übernehmen müssen. Somit bleibt nur noch der Selbstkostenerstattungsvertrag als Vergütungsmodell übrig, weil nur bei diesem Modell die Risiken in der zuvor genannten Art verrechnet werden können.

## 4.4 Element: Erstattung tatsächlich entstandener Kosten

Das Element der „Erstattung der tatsächlichen entstandenen Kosten“ wird nach IPA-Zentrum wie folgt definiert: „Der Bauherr erstattet alle direkten Kosten der Leistungserbringung, die im jeweiligen eigenen Betrieb (Eigenkosten) oder durch Inanspruchnahme der Leistungen Dritter (Fremdkosten) entstehen [2]“. Aufgrund dieses Elements muss explizit ein Vergütungsmodell verwendet werden, welches die entstanden Kosten abrechnet. Somit kommt nur ein Selbstkostenerstattungsvertrag in Frage. Einheitspreisverträge berücksichtigen bereits in ihren Positionen einen Gewinn und stellen somit nicht die entstanden Kosten dar. Das gleiche gilt auch für den Pauschalpreisvertrag.

## 4.5 Element: Auszahlung der Vergütungsbestandteile

Das letzte Element: „Auszahlung weiterer Vergütungsbestandteile in Abhängigkeit von der Erreichung der Projektziele und eingetretener Chancen und Risiken“: „Die Auszahlung von ausgewählten Vergütungsbestandteilen (z.B. Gewinne und ggfs. Geschäftskosten – teilweise oder in Gänze) hängen von dem Erfüllungsgrad zuvor definierter gemeinsamer Projektziele sowie dem Eintritt identifizierter Risiken und Chancen ab [2]“. Aufgrund dieser Abgrenzung bei der Definition bzw. Beschreibung dieses Elements, kommt in der IPA als Vergütungsmodell nur ein Selbstkostenerstattungsvertrag mit zusätzlichen Leistungsanreizen in Frage. Die traditionellen Modelle in Deutschland erfüllen die Anforderungen nicht.

<sup>1</sup> VOB/A-EU auch Abschnitt 2 bezeichnet, findet Anwendung bei Großprojekten (oberhalb der Schwellenwerte).



## 4.6 Abgrenzung des möglichen Vergütungsmodells und Anreizsystems nach IPA-Zentrum

Aufgrund der Charakteristika und der Elemente, ist nach der Definition des IPA-Zentrums nur ein Vertrag möglich. Wie bereits erläutert, handelt es sich dabei um einen Selbstkostenerstattungsvertrag mit Leistungsanreizen (Cost-Plus Incentive Fee). Weitere mögliche Vergütungsmodelle bzw. Anreizsysteme wären nach IPA nicht zulässig, da es sich nur um ein IPA-Projekt handelt, wenn alle Charakteristika und Elemente erfüllt sind. Wenn man diese Tatsache ausblendet, ist auch der Einsatz von weiteren Vergütungsmodellen durchaus vorstell- und umsetzbar. Die Art der Vergütung kann dabei in der Phase der gemeinsamen Entwicklung und der, der Ausführung divergent sein. Im Weiteren werden die unterschiedlichen Vergütungsmodelle beschrieben.

## 5 Vergütungsmodelle

Bei einem Vergütungsmodell ist immer ein Anreiz implementiert. Dabei bringen Vergütungsmodelle aus dem internationalen Kontext auch weiterführende Anreizmechanismen mit, welche nachfolgend näher betrachtet werden. Auf die genauen Gestaltungsmöglichkeiten der Anreizmechanismen wird nicht weiter eingegangen. Nachfolgend werden zunächst die traditionellen Vergütungsmodelle betrachtet und deren Eignung analysiert. Danach erfolgt eine internationale Betrachtung von Vergütungsmodellen und deren Anwendbarkeit für die IPA. Das Vergütungsmodell Time and Materials wird nicht weiter betrachtet. Dieses ist zu spezifisch, um es in die beschriebenen Phasen einzuordnen.

### 5.1 Traditionelle deutsche Vergütungsmodelle und Eignung

In Deutschland findet für die Erbringung der Bauleistung der Einheitspreisvertrag und der Pauschalpreisvertrag Anwendung. Der Pauschalpreisvertrag kann als Detail- oder Global-Pauschalpreisvertrag vereinbart werden. Die häufige Applikation dieser Vertragstypen ist daher geschuldet, dass öffentliche sowie quasi-öffentliche AG sich bei Erreichen oberhalb der Schwellenwerte an die VOB/A-EU richten müssen. Dabei greifen auch private Auftraggeber häufig aufgrund ihrer Erfahrung auf diese Vergütungsmodelle zurück.

### 5.2 Diskussion weiterer Vergütungsmodelle im internationalen Kontext

Bei einer Literaturanalyse haben sich elf Vergütungsmodelle auffinden lassen. Diese werden nachfolgend in Kürze erklärt. Anschließend erfolgt eine Eingliederung in die beschriebenen Phasen der IPA. Nachfolgend soll auch noch der Firm Fixed-Price beschrieben werden, da dieser als Grundlage für die weiteren Vergütungsmodelle herangezogen werden kann.

### 5.3. Firm Fixed-Price (FFP)

Bei Verwendung eines Firm Fixed-Price (FFP) muss der AN den Auftrag zu einem vorher vereinbarten Preis durchführen. Die Vorteile der Festpreisverträge bieten dem AG maximalen Schutz vor Kostenüberschreitungen, da der Endpreis schon bei Vertragsschluss fixiert ist. Außerdem besteht ein maximaler Anreiz für den AN das Projekt, mit den geringstmöglichen Kosten, so schnell wie möglich fertig zu stellen, wodurch nur eine minimale Projektüberwachung durch den AG erforderlich ist [10].

Demgegenüber stehen aber auch folgende Herausforderungen z.B. geht der AN mit einem Festpreisvertrag ein hohes Risiko ein, weshalb er die Zielkosten sorgfältig einschätzen muss. Wenn die geschätzten Zielkosten zu niedrig, fällt der Gewinn gering aus oder es entsteht im schlimmsten Fall ein Verlust für das Unternehmen. Wenn andererseits die Zielkosten überschätzt werden, so ist der AN möglicherweise nicht in der Lage, sich gegen Konkurrenten in der Ausschreibungsphase durchzusetzen. Da der AN die Zielkosten besonders sorgfältig einschätzen muss, stellt sich die Entwicklung von Angeboten als besonders kosten- und zeitintensiv dar. Dies kann, in Kombination mit dem hohen Risiko für den AN, qualifizierte Anbieter von einer Angebotsabgabe abhalten [10].

#### 5.3.1 Fixed Price with Economic Price Adjustment (FPEPA)

Der Fixed Price with Economic Price Adjustment (FPEPA) enthält einen Festpreis, eine Formel zur Anpassung des Preises, aufgrund von geltenden Marktpreisen und tatsächlichen Kosten, sowie eine Obergrenze für solche Anpassungen [10].

Ein Vorteil dieses Vertragsmodells entsteht vor allem bei unsicheren Marktsituationen, die branchenweite Unsicherheiten verursachen auf die der AN keinen Einfluss hat. Solche Marktsituationen inkludieren meist stark volatile Preise für Arbeit und Material, wodurch AG und AN bei Vertragsschluss mit großen Unvorhersehbarkeiten konfrontiert werden [10]. Wenn ein Vorhaben bei solchen Voraussetzungen durchgeführt werden muss, kann der Einsatz eines FPEPA-Vertrages einen Mehrwert

bieten. Das Risiko von unbeständigen Marktpreisen kann signifikant gemindert werden, da spätere Preisanpassungen, auf Grundlage vorher vereinbarter Bedingungen, in beide Richtungen möglich sind.

Als Risiko lässt sich identifizieren, dass der im Angebot genannte Preis nicht fix ist. Er unterliegt der Endpreis Eventualitäten, die nicht beeinflusst werden können (volatile Marktpreise). Daher erhöht sich das Risiko für den AG im Vergleich zu einem gewöhnlichen Festpreisvertrag, weil möglicherweise ein höherer (oder auch niedrigerer) Endpreis gezahlt werden muss.

### 5.3.2 Fixed-Price with Incentive Fee (FPIF)

Das Ziel eines Vertrags mit Leistungsanreiz besteht darin, dem AN einen Anreiz zu bieten, seinen Gewinn zu erhöhen, indem er die Kosten reduziert oder die Leistung verbessert. Ein Fixed Price with Incentive Fee (FPIF) Vertragsmodell enthält die geplanten Kosten (Target Cost (TC)), einen geplanten Gewinn (Target Profit (TP)), ein Preislimit (Ceiling Price (CP)) und eine Formel zur Gewinnanpassung. Diese Formel wird in der Regel durch ein Verhältnis (Share-Ratio (SR)) ausgedrückt, welches vorgibt, wie Kostenabweichungen zwischen AG und AN aufgeteilt werden [10]. Der Leistungsanreiz wird praktisch durch einen so genannten Pain/Gain-Mechanismus realisiert. Dieser Mechanismus bewirkt, dass der Gewinn bei einer Zielkostenunterschreitung (underrun) größer als geplant, und bei einer Zielkostenüberschreitung (overrun) geringer als geplant ausfällt. Der Gewinn des AN variiert dadurch also umgekehrt proportional zu den Projektkosten [11].

Der Vorteil des FPIF besteht darin, dass das Verhalten des AN mithilfe von Anreizen so beeinflusst werden kann, dass er im Sinne des AG handelt und motiviert ist, das Projekt im Rahmen der Projektzielvorgaben hinsichtlich Termine, Kosten und Qualitäten erfolgreich abzuschließen [12]. Außerdem kann der anreizbasierte Ansatz Innovationen fördern, die oft qualitativere und bessere Ergebnisse zur Folge haben. Die Herausforderung ist, dass wie die Kostenabweichungen bei einem FPIF-Vertrag auch die Risiken geteilt werden. Deshalb ist das Risiko für den AG höher als bei einem gewöhnlichen Festpreisvertrag, da Kostenüberschreitungen möglich sind. Außerdem erfordert die erhöhte Komplexität, im Gegensatz zu einem Festpreisvertrag, zusätzlichen Verwaltungsaufwand bzw. mehr Zeit bei der Vertragserstellung, wodurch höhere Kosten entstehen. Generell lässt sich deshalb sagen, dass der erwartete Nutzen den zusätzlichen Verwaltungsaufwand rechtfertigen sollte, wodurch

eher größere Projekte von diesem Modell profitieren dürften.

### 5.3.3 Fixed Price with Prospective Redetermination (FPRP)

Ein Fixed Price with Prospective Redetermination (FPRP) Vertrag wird vorausblickend verhandelt. Eine zukünftige Verhandlung von weiteren Festpreisverträgen wird zu vorher bestimmten Zeitpunkten ermöglicht [10]. Demnach sind in einem derartigen Vertrag drei Elemente essenziell: ein Festpreis für den ersten Zeitraum, Festpreise für voraussichtliche Folgezeiträume (mit einem Abstand von mind. 12 Monaten) und ein Zeitplan für die Preisgestaltung der nächsten Vertragsperioden [13]. Sinnbildlich ist das Modell als eine vertraglich vereinbarte Reihe von einzelnen Festpreisverträgen zu verstehen.

Diese Art von Verträgen bringt einen Vorteil mit sich, wenn die zukünftigen Kosten und Preise sehr starken Änderungen unterworfen sein werden [10]. Vor allem in Beschaffungsvereinbarungen des US-Militärs finden FPRP-Verträge Verwendung, wenn die Regierung eine feste Zusage des AN, für in den Folgejahren zu erbringende Lieferungen oder Dienstleistungen, benötigt und die Kosten nach dem ersten Jahr nicht zuverlässig abgeschätzt werden können [13]. Das Risiko für den AG bei dieser Vertragsart liegt zwischen einem standardmäßigen Festpreisvertrag und einem FPIF-Vertrag. Der Preis kann lediglich für den ersten Abrechnungszeitraum sicher vorausgesagt werden. Die Preise der späteren Vertragsperioden müssen hingegen neu ausgehandelt werden, wodurch Kostenerhöhungen möglich sind. Dadurch, dass das Erstellen von mehreren Festpreisverträgen auch ein höheren Verwaltungsaufwand bedeutet und damit ebenso höhere Kosten auftreten. Das vorliegende, durch nicht schätzbare zukünftige Kosten ausgelöste Risiko, muss den administrativen Mehraufwand rechtfertigen. [13]

### 5.3.4 Garantierter Maximalpreis (GMP)

Bei einem Garantierten Maximalpreis-Vertrag (GMP) beauftragt der AG einen Partner für die weiteren Phasen der Planung, mit der Option zur Zusammenarbeit in der Ausführungsphase. Nachdem 40-70% der Planungsleistungen erbracht sind, schlägt der Bauunternehmer einen garantierten Maximalpreis (GMP) vor, den der AG entweder annehmen oder ablehnen kann [14]. Durch diesen GMP ist der Vergütungsanspruch des AN, unabhängig von den tatsächlich entstehenden Kosten, auf den vereinbarten Betrag limitiert [15].

Das Vergütungsmodell kombiniert die Eigenschaften von Pauschal- und Selbstkostenerstattungsverträgen und koppelt diese zudem an einen Anreizmechanismus zur Kosteneinsparung. Die Vergütung ist auf Basis der tatsächlich anfallenden Herstellungskosten, zuzüglich eines Zuschlags für Allgemeine Geschäftskosten (AGK) sowie Wagnis und Gewinn, zu errechnen [16]. Ziel ist es, dass der GMP durch die gemeinsame Planung und Ausführung in kooperativer Form unterschritten wird. Eingesparte Kosten werden nach festgelegten Prozentsätzen zwischen AG und AN geteilt [17]. Überschreiten die finalen Kosten hingegen den Maximalpreis, so trägt der AN das Risiko [18]. Aus diesem Mechanismus entsteht ein Anreiz für den AN, die Kosten im Rahmen einer partnerschaftlichen Projektabwicklung gering zu halten. Ein Vorteil für den AG liegt in der Risikoverteilung, die zu seinen Gunsten ausfällt. Der AG profitiert durch den festgelegten GMP von einer Kostensicherheit, da der Preis, im Rahmen der Erfüllung der vereinbarten Bauleistung, gedeckelt ist. Eine Schwierigkeit liegt oftmals in der Gefahr der Missinterpretation des, in der Bezeichnung des Modells auftretenden, Wortes „garantiert“. Die in einem GMP-Vertrag enthaltene „Garantie“ kann sich nur auf das vertraglich vereinbarte Bau-Soll und nicht auf die Vergütung im Sinne einer Preisgarantie beziehen. [19] Der AN kann sehr wohl eine Anpassung des GMP rechtfertigen, wodurch kein statischer Pauschalpreis vorliegt. Es ist demnach offensichtlich, dass für die Einhaltung des GMP kein Garantieverprechen vorliegen kann, wie es die Bezeichnung vermuten lässt [20]. Demnach ist der AG keineswegs vollständig vor einem Preis geschützt, der die Höhe des vereinbarten GMP übersteigt. Mehrkosten, die aufgrund von Änderungen, zusätzlichen Leistungen oder Erschwernissen entstehen, sorgen regelmäßig für eine Erhöhung des GMP [20].

## 5.4 Cost Plus Contracts – Kostenzuschlagsverträge

Bei Kostenzuschlagsverträgen (Cost Plus Contracts) werden dem AN alle zulässigen Ausgaben erstattet. Zudem erfolgt ein Zuschlag, der dem AN einen Gewinn ermöglicht. Das Material und die Arbeitskosten werden zum Selbstkostenpreis rückerstattet [10], während es verschiedene Möglichkeiten gibt, den Gewinnzuschlag für den AN zu gestalten. Einige dieser Möglichkeiten werden im Folgenden hinsichtlich ihrer Eigenschaften, Vorteile und Risiken betrachtet.

Kostenzuschlagsverträge sind im deutschen Raum kaum verbreitet. Am ehesten zu vergleichen ist dieser Vertragstyp mit dem, in älteren Fassungen der VOB/A erwähnten, Selbstkostenerstattungsvertrag. Dieser wird in § 5 Abs. 3

VOB/A (Fassung von 2006) als Ausnahme definiert. Diese kommt in Frage, wenn Leistungen größeren Umfanges vor der Vergabe nicht eindeutig bestimmt werden können, dass eine einwandfreie Kostenermittlung möglich ist. Zu unterscheiden sind dabei die Selbstkosten im eigentlichen Sinne und der Gewinn. Als Selbstkosten sind alle Aufwendungen zu verstehen, die wirtschaftlich von Seiten des AN erforderlich sind, um die Bauleistung vertragsgemäß erbringen zu können. Die einzelnen Positionen der Selbstkosten sind hierbei schon vor Vertragsabschluss festzulegen. Gleiches gilt auch für den Gewinn, der Bestandteil eines Selbstkostenerstattungsvertrags sein kann. Falls während der Bauausführung eine einwandfreie Preisermittlung möglich wird, so legt die VOB/A in § 5 Abs. 3 Nr. 3 allerdings fest, dass ein Leistungsvertrag geschlossen werden sollte. Auch wenn jene Selbstkostenerstattungsverträge in Deutschland nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommen und in aktuellen Fassungen der VOB nicht mehr enthalten sind, sind deutliche Gemeinsamkeiten zwischen ihnen und den eher in den USA verwendeten Kostenzuschlagsverträgen zu erkennen [21].

### 5.4.1 Cost and Cost Sharing (CS) – Kostenzuschlagsvertrag mit Kostenbeteiligung

Bei Kostenzuschlagsverträgen mit Kostenbeteiligung (Cost (C) oder Cost Sharing (CS)) verzichtet der AN gänzlich auf ein Honorar bzw. Gewinn. Bei CS-Verträgen kommt neben dem Gewinnverzicht hinzu, dass der AN einen vereinbarten Teil der Kosten übernimmt, da er im Gegenzug meist einen erheblichen Gegenwert erwartet.

Verträge dieses Typs kommen meistens bei nicht gewinnorientierten Forschungseinrichtungen zum Einsatz. Sie werden in der Regel in der Grundlagenforschung eingesetzt. Hierbei hofft der AN zukünftig von der Forschung und Entwicklung profitieren zu können, bspw. dadurch, dass er Wissen an andere Teile des Unternehmens überträgt und einen kommerziellen Gewinn erzielen sowie die Wettbewerbsposition verbessern kann. Abgesehen von diesen Absichten ist es möglich, dass der AN eine gemeinnützige Institution ist und aus diesen Gründen auf ein Honorar verzichtet. Im Kontext dieses Beitrags spielt dieses Motiv aber eine zu vernachlässigende Rolle. Das, für Kostenzuschlagsverträge typische, Risiko einer Kostenüberschreitung für den AG besteht auch bei diesen Modellen. Anders als bei zuvor betrachteten Varianten besteht allerdings bei CS-Vereinbarungen der Unterschied, dass für den AN auch ein finanzieller Nachteil bei Kostenüberschreitungen entsteht, wodurch für diesen

ein Anreiz gegeben ist, die Kosten so gering wie möglich zu halten. Vereinbarungen dieser Art können nur sehr beschränkt eingesetzt werden, da Anwendungsfälle im Bauwesen, bei denen es für den AN sinnhaft ist auf ein Honorar zu verzichten, kaum existieren. Die Modelle Cost und Cost-Sharing werden aus diesem Grund nicht weiter betrachtet.

#### **5.4.1 Cost-Plus Incentive Fee (CPIF) – Kostenzuschlagsvertrag mit Anreiz**

Kostenzuschlagsverträge mit Leistungsanreiz (Cost-Plus Incentive Fee (CPIF)) unterscheiden sich von normalen Kostenzuschlagsverträgen dahingehend, dass der Gewinnzuschlag anhand einer Formel bestimmt wird, die die Zielkosten mit den tatsächlichen Kosten vergleicht. Dies geschieht, wie auch bei FPIF-Verträgen, mithilfe eines vorher festgelegten Verhältnisses. Dieses Verhältnis bestimmt, wie von den Zielkosten abweichende Kosten auf AG und AN aufgeteilt werden. Der Unterschied zu einem FPIF-Vertrag liegt darin, dass kein Preislimit existiert, wodurch dem AN 100 Prozent der Kosten zurückerstattet werden müssen. Zudem ist der Gewinn des AN beschränkt, da eine Ober- sowie Untergrenze für diesen festgelegt wird. Der Unterschied zwischen CPIF- und FPIF-Projektentwicklungsmodellen lässt sich also wie folgt zusammenfassen: Während bei FPIF-Verträgen der Endpreis für den AG durch ein Preislimit begrenzt wird, wird bei CPIF-Verträgen der Gewinn des AN limitiert. Dies resultiert darin, dass FPIF-Verträge risikoreicher für AN und CPIF-Verträge risikoreicher für AG sind, da die risikobelastetere Partei im Zweifelsfall die volle finanzielle Verantwortung für starke Kostenabweichungen trägt. Diese unterschiedlichen Risikozuordnungen führen dazu, dass AN bei FPIF-Vereinbarungen in der Regel höhere Gewinne erwarten als bei der Verwendung von CPIF-Vereinbarungen. Aufgrund des höheren Risikos für den AG fällt das Verteilungsverhältnis meist zu Gunsten des AG aus. Dies bedeutet einerseits, dass bei Kosten, die geringer als erwartet ausfallen, ein günstigerer Endpreis als bei anderen Vertragsmodellen mit Leistungsanreiz (z.B. FPIF) entsteht. Andererseits fällt der Gewinn für den AN geringer aus, da der AG diese großen Risiken abnimmt. Zudem profitieren AG und AN gemeinsam von Kosteneinsparungen, wodurch eine kooperative Zusammenarbeit gefördert wird [22]. Durch das Fehlen eines Preislimits entsteht das für Kostenzuschlagsverträge charakteristische Risiko eines Endpreises, der die finanziellen Reserven des AG übersteigt.

#### **5.4.2 Cost Plus award Fee (CPAF) – Kostenzuschlagsvertrag mit Prämienzahlung**

Der Cost Plus Award Fee ist ein Vertrag der dem AN die Kosten für die Ausführung erstattet. Außerdem kann eine zusätzliche Vergütung für besondere bzw. „hervorragende Leistungen“ erfolgen. Dabei werden die Selbstkosten ermittelt. Dies ist wichtig, um die Risikoübernahme durch den Auftragnehmer auf ein Niveau zu reduzieren. Die Prämienzahlung kann einfach oder mehrfach erfolgen. Diese können z.B. nach Termineinhaltungen oder besonderes qualitativ hochwertiger Durchführung erfolgen. Die Prämien können dabei unabhängig voneinander sein. Der Anreiz für den AN liegt darin, die Prämienzahlungen zu erreichen. Dabei liegt natürlich die Gefahr beim AG, dass wenn der AN diese nicht erreicht, er möglicherweise den Anreiz verliert und nicht mehr die gewünschte Leistung bringt. Die Selbstkosten werden weiterhin erstattet und der AN könnte das Interesse an dem Projekt verlieren. Außerdem sollte überlegt werden, wie ein möglicher Malus für diese Vertragsform aussieht bzw., ob überhaupt ein Malus vereinbart werden sollte [23].

#### **5.4.3 Cost-plus Fixed Fee (CPFF) – Kostenzuschlagsvertrag mit Gewinnaufschlag auf Selbstkosten**

Kostenzuschlagsverträge mit einem Gewinnaufschlag auf die Selbstkosten (Cost-Plus Fixed Fee (CPFF)) stellen die simpelste Variante ihrer Art dar. Diese Art von Vertrag sieht neben der Erstattung der Selbstkostenpreise, für Material und Arbeitskosten, eine feste Summe oder einen festen Gewinn für die vom AN erbrachten Dienstleistungen vor, welche in der Regel nur einen geringen prozentualen Anteil der Gesamtkosten ausmachen. In der Regel wird dieses Modell eingesetzt, wenn die Vertragspartner glauben, dass eine genaue Preisgestaltung auf keine andere Weise möglich ist [10]. Ein großer Vorteil für den AG liegt darin, dass die Gewinne des AN minimiert werden. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass der AN bei dieser Vertragsform nur ein geringes Risiko trägt. Zudem können Angebote schnell mit minimalen Ausgaben erstellt und vom AG einfach bewertet werden. Dies ermöglicht einen frühen Projektbeginn und kann somit zu einer früheren Fertigstellung führen. Außerdem werden Verhandlungskosten reduziert und der AG genießt maximale Flexibilität. Da der Gewinn für den AN fix ist, liegt ein weiterer großer Vorteil darin, dass der AN einen Anreiz hat, das Projekt so schnell wie möglich fertigzustellen. Da der AN nicht von höheren Kosten profitiert, bietet das Modell auch eine gute Grundlage zur gemeinschaftlichen Lösung von technischen, finanziellen und kommerziellen Problemen. Das größte Risiko liegt, wie bei allen Kostenzuschlags-Verträgen, in der fehlenden

Absicherung der letztendlichen Kosten. Es existiert, ohne Festlegung eines Preislimits, keine Gewähr für die Höhe der Endkosten. Zwar gibt es im Vertrag festgelegte Zielkosten, jedoch stellen diese nur einen unverbindlichen Zielbetrag dar. Im Endpreis sind die tatsächlich entstandenen Kosten zu vergüten, sofern keine andere Vereinbarung, beispielsweise in Form eines Höchstpreises, getroffen wurde. Damit liegt das höhere Risiko eindeutig beim AG, was Kostenzuschlagsverträge generell sehr spekulativ und unsicher für diesen macht. Zudem werden durch den fixen Gewinnzuschlag bei einem CPFF-Vertrag gute und schlechte Leistungen gleichermaßen belohnt. So können sich durch das Fehlen finanzieller Anreize im Vergleich zu anderen Vertragsarten höhere Baukosten ergeben [10].

#### 5.4.4 Cost-plus percent-of-cost contracts (CPCC) – Kostenzuschlagsvertrag mit Anteil der Kosten

Bei einem Kostenzuschlagsvertrag mit Prozentzuschlag auf die Selbstkosten (Cost-Plus Percentage Fee (CPCC)) wird ein vorher ausgehandelter prozentualer Gewinnaufschlag auf die zu erstattenden Kosten aufgeschlagen. Demnach steigt oder fällt der Gewinn des AN proportional zu den verursachten Kosten. Ein CPCC-Vertrag ist schnell, günstig und vergleichsweise simpel aufzusetzen. Er bietet, im Vergleich zu anderen Vertragsmodellen, die Chance auf einen früheren Projektstart, da das Projekt nicht vollständig definiert sein muss und außerdem lange andauernde Vertragsverhandlungen vermieden werden. Dies ist vor allem für den AN nützlich, da auch bei unzureichenden Informationen und ohne eine aufwendige Kosteneinschätzung ein Vertragsabschluss zu Stande kommen kann. Das AN-Risiko ist bei diesem Vertragstyp minimal. Im Vergleich zu CPIF-Verträgen hat der AG zwar weniger Kontrolle über sein Budget, da mit den Projektkosten auch das Honorar des AN steigt, jedoch erweist sich ein CPCC-Vertrag als flexibler bei Projektänderungen. Damit reduzieren sich die Unsicherheiten für den AG in der Ausschreibungsphase. Das größte Problem an dieser Variante stellt der fehlende Anreiz für den AN dar. Für den AN entsteht kein finanzieller Vorteil, wenn er die Projektkosten niedrig hält. Im Gegenteil: Der AN profitiert von höheren Kosten, da mit den Kosten auch sein Gewinn steigt. Hierdurch ist eine höhere Wahrscheinlichkeit für Überschreitungen bei Kosten und Bauzeit gegeben, da AG und AN im schlimmsten Fall gegensätzliche Interessen verfolgen können. Dies hindert kooperative und gemeinschaftliche Herangehensweisen und kann Konflikte nach sich ziehen. Das Risiko für den AG ist maximal [24].

## 6. Analyse und Zuordnung der Vergütungsmodelle für die IPA

Aus Kapitel 5 gehen bereits zahlreiche Vergütungsmodelle bzw. Vertragsmodelle und eine kurze Beschreibung über mögliche Anreize bzw. Anreizsysteme hervor. Nachfolgend sollen die Vergütungsmodelle den entsprechenden Phasen der IPA zugeordnet werden.

### 6.1 Vergütungsmodelle für die Phase 1 und 2 der IPA

Wie bereits zuvor unter Kapitel 3 beschrieben befindet sich das Projekt noch in einer frühen Phase. Es sind höchstens Skizzen oder mögliche Beschreibungen des Projektes vorhanden. Außerdem werden gemeinsam die Kosten und der Terminplan für das Projekt entwickelt. Für diese Phase des Projektes eignen sich besonders Selbstkostenerstattungsverträge (Cost Plus Verträge) (vgl. Tabelle -1). Aufgrund des Charakters der Selbstkostenerstattung, können alle Partner gemeinsam das Projekt entwickeln. Natürlich muss der Bauherr zunächst hohe Kosten in einer frühen Phase entgegennehmen. Er muss dabei aber nur für die tatsächlich erbrachte Leistung eine Zahlung vornehmen. Der Cost or Cost-Sharing kommt nicht als Modell in Frage. Bei diesem erwirtschaftet das Bauunternehmen keine Gewinne oder Profite, wodurch auch keine monetären Anreize entstehen. Nur unter bestimmten Bedingungen, wie einer späteren Beteiligung an dem fertiggestellten Projekt, könnte dieses Vergütungsmodell interessant werden. Über die Art der Anreizsetzung muss sich der Bauherr selbst Gedanken machen. Dies kommt auf die sich vorgestellten Projektziele an und welches Risiko er eingehen möchte.

Tabelle -1 Vergütungsmodelle für die Phase 1 und 2

Name Wahlmöglichkeit	Phase 1 + 2	
	geeignet	weniger geeignet
Cost-Plus-Incentive-Fee (CPIF)	X	
Cost-Plus-Award-Fee (CPAF)	X	
Cost-Plus-Fixed-Fee (CPFF)	X	
Cost or Cost-Sharing (C or CS)		X

## 6.2 Vergütungsmodelle für die Phase 3 der IPA

Nach der Planung, der Entwicklung der Basis-Zielkosten und Terminplanung, besteht (zumindest bei einem Mehrparteienvertrag) die Möglichkeit, mit dem Bauunternehmer das Projekt weiterzuführen oder zu beenden. Die zuvor beschriebenen, traditionellen Vertragsmodelle eignen sich aufgrund ihrer gegensätzlichen Risikoverteilung eher weniger. Für die Ausführung bei der IPA eignen sich eine Vielzahl von Verträgen (vgl. Tabelle Fehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im Dokument.-2). Pauschalverträge mit zusätzlichen Anreizen bringen den Vorteil, dass der AG mehr Kostensicherheit hat. Dabei kann er mit zusätzlichen Anreizen den AN motivieren, das Projekt bestmöglich abzuwickeln. Die Gefahr besteht, dass der AN in der Phase 1 und 2 mit einer Selbstkostenerstattung Vertrag beauftragt wird und dann gemeinsam die Kosten ermitteln. Das Bauunternehmen könnte künstlich die Kosten nach oben treiben, damit am Ende bei der Pauschale mehr Reserven (Deckungsbeitrag) vorhanden ist. Die Risikoübertragung auf den AN bringt für den AG höhere Kosten mit sich. Bei den Selbstkostenerstattungsverträgen mit zusätzlichen Bonuszahlungen, ist ein durchgängiger Anreiz vorhanden. Bei einer entsprechenden Anreizsetzung, kann die Ausführung durchaus verbessert werden. Dabei ist auch eine ausgewogenere Risikoverteilung vorhanden. Wichtig ist, dass bei diesen Verträgen die tatsächlichen Kosten realistisch ermittelt werden und auch realistische Ziele für Anreize gesetzt werden.

Tabelle Fehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im Dokument.-2 Vergütungsmodelle für die Phase 3

Name Wahlmöglichkeit	Phase 3	
	geeignet	weniger geeignet
Einheitspreisvertrag		X
Detail-Pauschalpreisvertrag		X
Global-Pauschalpreisvertrag		X
Firm-Fixed Price (FFP)		X
Fixed Price Economic Price Adjustment (FPEPA)	X	
Fixed-Price Incentive Firm Target (FPIF)	X	
Fixed-Price Award Fee (FPAF)	X	

Fixed-Price Prospective Price Redetermination (FP <sup>3</sup> R)	X	
GMP	X	
Cost-Plus-Incentive-Fee (CPIF)	X	
Cost-Plus-Award-Fee (CPAF)	X	
Cost-Plus-Fixed-Fee (CPFF)	X	
Cost or Cost-Sharing (C or CS)		X

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag zeigt, dass das IPA-Zentrum mit seinen Charakteristika und Modellbestandteilen beschränkend auf mögliche Vergütungsmodelle und Anreizsystemen hinsichtlich der IPA wirkt. Es gibt in diesem Bereich wesentlich mehr Möglichkeiten die Bauunternehmen zu vergüten und auch entsprechende Anreize zu setzen. Dabei ist vor allem wichtig, die Risikobereitschaft des AG zu ermitteln. Am Ende ist ein entscheidendes Kriterium für die Wahl des Vertrags auch das Risikoprofil des Projektes. Dabei stellt sich heraus, dass gerade in der Phase 1 und 2 die Anwendung von Selbstkostenerstattungsverträgen am sinnvollsten ist, da aufgrund der frühen Phase des Projektes noch nicht klar ist, wie viel Aufwand die gemeinsame Entwicklung des Projektes mit sich bringt. Bei der Ausführung können auch Fixed Price Modelle angewendet werden und dabei auch zusätzliche Anreize gesetzt werden, um die Projekte erfolgreich abzuwickeln. Wie sich die weitere Entwicklung der Vergütung und Anreizsysteme bei der IPA entwickelt, bleibt abzuwarten. Generell ist das Aussprechen einer abschließenden Eigenschaft oder Nichteignung von einzelnen Vertragsarten für die IPA immer schwierig und stark geprägt durch das Projekt.

## Literatur

- [1] S. Haghsheno und A. Schilling Miguel, „IPA-Report 2023: Integrierte Projektabwicklung (IPA) - Entwicklung und Merkmale von IPA-Projekten“, Karlsruhe, 2023.
- [2] A. Boldt *et al.*, „Integrierte Projektabwicklung (IPA) - Charakteristika und konstitutive Modellbestandteile“, 2022.
- [3] F. G. Becker und M. H. Kramarsch, *Leistungs- und erfolgsorientierte Vergütung für Führungskräfte*. Göttingen, Bern, Wien: Hogrefe, 2006.

- [4] M. Müller, „Leistungsanreize in der Transportlogistik“. Dissertation, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [5] S. C. Becker, „Identifizierung von Anreizen in Verträgen nach der VOB/A-EU unter Einbezug von der VOB/B“ in *Tagungsband zum 31. BBB-Assistent:innentreffen Innsbruck 2022*, 2022, S. 17–29.
- [6] C. Steinle, *Führung: Grundlagen, Prozesse und Modelle der Führung in der Unternehmung*. Stuttgart: Poeschel, 1978.
- [7] H. Laux, *Unternehmensrechnung, Anreiz und Kontrolle: Die Messung, Zurechnung und Steuerung des Erfolges als Grundprobleme der Betriebswirtschaftslehre*, 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.
- [8] J. Berthel und F. G. Becker, *Personal-Management: Grundzüge für Konzeptionen betrieblicher Personalarbeit*, 10. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2013.
- [9] S. C. Becker und H. Roman-Müller, *Integrierte Projektabwicklung (IPA)*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2022.
- [10] H. Kerzner, *Projektmanagement: Ein systemorientierter Ansatz zur Planung und Steuerung*, 1. Aufl. Bonn: mitp-Verl., 2003.
- [11] P. Sander und M. Spiegl, „Risikomanagement als Erfolgsfaktor für anreizbasierte Bauverträge“ in *Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb*, Heft 63, *Kooperative Vertragsmodelle und baubetriebliche Lösungsansätze - Ist Deutschland reif für Alternativen?: Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 22. Februar 2019*, P. Schwerdtner, Hg., Braunschweig: Technische Universität Braunschweig Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2019, S. 99–123.
- [12] J.-A. Giebelhausen, *Konzeption eines Organisations- und Kooperations-Leitsystems mit anreizbasierten Vergütungselementen zur Verbesserung der Kooperation, der Kommunikation und der Termineinhaltung in Bauprojekten*. Dissertation, 2019.
- [13] netcents, „Comparison of Major Contract Types“, Unbekannt, Unbekannt. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.netcents.af.mil/Portals/30/documents/NETCENTS-1/Documents/GenInfo-Comparison%20of%20Major%20Contract%20Types%202008%20Version%20Final.pdf?ver>. Zugriff am: 11. September 2023.
- [14] S. G. Faber, „Partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer“ in *VDI, Projektmanagement von Verkehrsinfrastrukturprojekten*, K. Spang, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2016, S. 749–793.
- [15] M. Gralla, *Garantierter Maximalpreis: GMP-Partnering-Modelle ; ein neuer und innovativer Ansatz für die Baupraxis*, 1. Aufl. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: Teubner, 2001.
- [16] Al Khafadji, A. und S. Scharpf, „Kooperative Vertragsmodelle – Vergleichende Analyse des GMP- und des Allianz-Vertrages“ in *Tagungsband zum 29. BBB-Assistententreffen - Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik: Beiträge zum 29. BBB-Assistententreffen vom 06. bis 08. Juni 2018 in Braunschweig*, P. Schwerdtner und T. Kessel, Hg., Zentrum für Bau- und Infrastrukturmanagement, S. 12–20.
- [17] U. Elwert, *Nachtragsmanagement in der Baupraxis: Grundlagen - Beispiele - Anwendung*, 3. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2010. [Online]. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=751658>
- [18] G. Girmscheid, *Projektabwicklung in der Bauwirtschaft - prozessorientiert: Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer*, 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2016.
- [19] T. Mathoi, *Maximalpreismethode: Bauprojektabwicklung als integrierter Planungs-, Realisierungs- und Managementprozess unter dem Aspekt einer Maximalpreisvereinbarung in Österreich - Projektphasen, Leistungsumfang, vertragliche Besonderheiten, vergaberechtliche Beurteilung*. Zugl.: Innsbruck, Univ., Diss., 2006. Norderstedt: Books on Demand, 2006.

- [20] K. Zilch, C. J. Diederichs, R. Katzenbach und K. J. Beckmann, *Bauwirtschaft und Baubetrieb*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [21] W. Breyer, A. Boldt und S. Haghsheno, „Alternative Vertragsmodelle zum Einheitspreisvertrag für die Vergabe von Bauleistungen durch die öffentliche Hand“, 2020.
- [22] P. Sander, S. C. Becker, C. P. Friedinger, S. Riemann, S. Ditandy und M. Spiegl, „Creating Incentive Mechanisms for Integrated Project Delivery“, *tunnel*, S. 12–23, 2022.
- [23] C. W. Marshall, „Structural models of award fee contracts“, *Naval Research Logistics*, Jg. 21, Nr. 2, S. 343–359, 1974, doi: 10.1002/nav.3800210214.
- [24] C. W. Ibbs, Y. H. Kwak, T. Ng und A. M. Odabasi, „Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis“, *J. Constr. Eng. Manage.*, Jg. 129, Nr. 4, S. 382–387, 2003, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:4(382).



# Geschäftsmodelle von Projektentwicklungsunternehmen

## Business models of real estate development companies

Dominik Ehmann, Technische Universität Graz, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, Lessingstraße 25/II, 8010 Graz, Austria, [dominik.ehmann@tugraz.at](mailto:dominik.ehmann@tugraz.at)

### Kurzfassung

Der gegenständliche Beitrag befasst sich mit dem Thema Geschäftsmodelle von Projektentwicklungsunternehmen. Als Methodik wurde eine reine Literaturrecherche angewandt. In der Literatur bestehen unterschiedliche Definitionen des Begriffes „Geschäftsmodell“. Die unterschiedlichen Geschäftsmodelle der Projektentwicklungsunternehmen wurden im Rahmen dieses Beitrages mittels der vier Elemente bzw. Fragen nach GASSMANN et.al. erarbeitet. Näher betrachtet wurden hierbei somit die Elemente Zielkundschaft, Nutzenversprechen, Wertschöpfungskette sowie die Ertragsmechanik der Projektentwicklungsunternehmen. Die Ausarbeitung kann als allgemeiner Überblick zur Betrachtung der Geschäftsmodelle von Projektentwicklungsunternehmen herangezogen werden. Zusätzlich zu dieser Auswertung der korrespondierenden Literatur werden künftig vermehrt wissenschaftliche Untersuchungen zu diesem Thema notwendig sein.

### Abstract

This article deals with the topic “business models of real estate development companies”. As methodology a literature review was used. There are different definitions of the term business model in the literature. The different business models of real estate development companies were investigated, based on the four elements according to GASSMANN et.al.. The elements of customers, value proposition, value chain and the profit mechanism were examined in detail. The article can be used as a general overview of the business models of project development companies. In addition to this literature review, further scientific studies on this topic will be necessary in the future.

## 1 Einleitung

Ziel dieses wissenschaftlichen Beitrages ist es, typische Geschäftsmodelle von Projektentwicklungsunternehmen mittels Literaturrecherche näher zu untersuchen und in weiterer Folge einen allgemeinen Überblick zu dieser Betrachtungsweise „Geschäftsmodelle in der Immobilienwirtschaft“ darzulegen.

Anders formuliert ergibt sich für diese kurze Abhandlung folgende Fragestellung:

Welche typischen Geschäftsmodelle (bzw. welche Elemente oder Bausteine von Geschäftsmodellen) von Projektentwicklungsunternehmen können aus der Literatur extrahiert werden?

Als methodisches Vorgehen wird eine reine Literaturrecherche angestellt, aus welcher die Erkenntnisse zu dem Themenkomplex „Geschäftsmodelle von Projektentwicklungsunternehmen“ hervorgehen. Es soll ein kurzer Überblick über den Stand der Literatur zu dem Thema gegeben werden.

Der Kontext des gegenständlichen Beitrages zum Themenfeld „Baumanagement“ ist klar gegeben, da in sehr

frühen Projektphasen der/die Bauherr/in bzw. Projektentwickler/in die (Führungs-) Aufgaben des Bauprojektmanagements (bzw. Baumanagements) selbst übernimmt bzw. übernehmen muss. [1, S. 8]

Das Thema wird deduktiv aufbereitet, indem vom „Allgemeinen“ zum immer „Spezielleren“ übergeführt wird.

## 2 Allgemeines zu Geschäftsmodellen

In der Literatur bestehen unterschiedliche Definition des Begriffes „Geschäftsmodell“. [2, S. 17]

Obwohl der Begriff Geschäftsmodell so inflationär genutzt wird, existiert tatsächlich keine allgemein anerkannte Definition dieses Begriffs. [3, S. 502]

Daher ist es von besonderer Bedeutung den Begriff für den Rahmen des gegenständlichen Beitrages vorab zu definieren.

AMIT und ZOTT haben folgende Definition dazu geprägt:

„A business model depicts the content, structure, and governance of transactions designed so as to create value through the exploitation of business opportunities.“ [4, S. 511]

DOI: 10.17185/dupublico/79117



MAGRETTA definiert ein Geschäftsmodell über mehrere Fragen:

*“A good business model answers Peter Drucker’s age-old questions: Who is the customer? And what does the customer value? It also answers the fundamental questions every manager must ask: How do we make money in this business? What is the underlying economic logic that explains how we can deliver value to customers at an appropriate cost?”* [5, S. 4]

OSTERWALDER und PIGNEUR definieren ein Geschäftsmodell als ein Grundprinzip, nach dem eine Organisation Werte schafft, bereitstellt und sichert. [6, S. 18]

Zur Abgrenzung sei festgehalten, dass ein Geschäftsmodell keine Strategie ist, auch wenn diese Begriffe oftmals fälschlich verwendet werden. [5, S. 6]

Normative Unternehmenspolitik	Legitimation der Unternehmung Entwicklung von Vision, Mission, Leitbild, Ethikkodex usw.
Strategie	Schaffung und Pflege nachhaltiger Erfolgspositionen Entwicklung von Unternehmens-, Geschäftsfeld- und Wettbewerbsstrategien
Geschäftsmodell	Erzeugung und Abschöpfung von Wert Entwicklung von Wertmechanismen
Operative Planung	Operative Ablaufsteuerung und Sicherstellung der Zahlungsfähigkeit Entwicklung von Budgets und Arbeitsprozessen und -strukturen

**Bild 1** Das Geschäftsmodell in der Planungshierarchie [7, S. 26.]

Im Hinblick auf die Planungshierarchien eines Unternehmens (siehe **Bild 1**) ist das Geschäftsmodell zwischen der Strategie und der operativen Planung einzugliedern. Das Geschäftsmodell dient hierbei der Erzeugung und Abschöpfung von Werten sowie der Entwicklung von Wertmechanismen. Übergeordnet, also noch über der Strategie, steht die normative Unternehmenspolitik mit einer Vision, Mission, einem Leitbild etc.

Die Elemente des Geschäftsmodells werden nach GASSMANN et.al. mittels vier Fragen definiert: [8, S. 9]

- Wer ist unsere Zielkundschaft?
- Was bieten wir den Kundinnen und Kunden an? (Nutzenversprechen)
- Wie stellen wir die Leistung her? (Wertschöpfungskette)
- Wie wird der Wert erzielt? (Ertragsmechanik)

In **Bild 2** sind die vier Dimensionen eines Geschäftsmodells nach GASSMANN et.al. dargestellt.



**Bild 2** Vier Dimensionen eines Geschäftsmodells [8, S. 7]

Auch OSTERWALDER und PIGNEUR beschreiben Geschäftsmodelle ähnlich, jedoch mittels neun Bausteinen etwas granularer. Diese neun Bausteine sind wie folgt definiert: [6, S. 19 ff.]

- Kundinnen und Kunden
- Wertangebot
- Kanäle
- Beziehungen zu Kundinnen und Kunden
- Einnahmequellen
- Schlüsselressourcen
- Schlüsselaktivitäten
- Schlüsselpartnerschaften
- Kostenstruktur

Grundsätzlich werden im Rahmen dieses Beitrages die unterschiedlichen Geschäftsmodelle der Projektentwicklungsunternehmen mittels der vier Elemente (bzw. Fragen) nach GASSMANN et.al. erarbeitet. Ergänzend werden mittels der Bausteine nach OSTERWALDER und PIGNEUR die Geschäftsmodelle der Projektentwicklungsunternehmen erörtert.

### 3 Geschäftsmodelle von Projektentwicklungsunternehmen

In diesem Kapitel werden die einzelnen Elemente (bzw. Bausteine) unterschiedlicher Geschäftsmodelle von Projektentwicklungsunternehmen mittels Literaturrecherche herausgearbeitet.

DIEDERICHS definiert Projektentwicklung wie folgt:

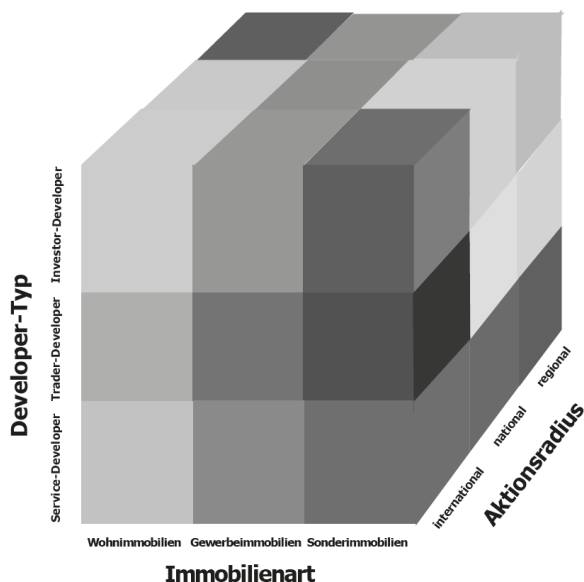
*„Durch Projektentwicklungen (im weiteren Sinne) sind die Faktoren Standort, Projektidee und Kapital so miteinander zu kombinieren, dass einzelwirtschaftlich wettbewerbsfähige, Arbeitsplatz schaffende und sichernde sowie gesamtwirtschaftlich sozial- und umweltverträgliche*

*Immobilienobjekte geschaffen und dauerhaft rentabel genutzt werden können.“ [9, S. 46]*

In der Literatur fehlt jedoch die Differenzierung von Immobilienunternehmen aufgrund unterschiedlicher Geschäftsmodelle.

Geschäftsmodelle in der Immobilienwirtschaft werden meist nur implizit beschrieben. Es werden daher nur einzelne Teile von Geschäftsmodellen erläutert. [3, S. 502]

Als Beispiel hierfür dient das **Bild 3**, welches mit den beiden Dimensionen Developer-Typ und Immobilienart Teile von Geschäftsmodellen der Projektentwicklungsunternehmen beschreibt, jedoch nicht explizit ein gesamtes oder unterschiedliche Geschäftsmodelle aus der Branche definiert. Zur Abgrenzung sei erwähnt, dass die dritte Dimension Aktionsradius hinsichtlich der Planungshierarchien der Strategie zuzuordnen wäre.



**Bild 3** Klassifizierung von Projektentwicklungsunternehmen [10]

### 3.1 Zielkundschaft

Die erste Frage nach GASSMANN et.al. soll in diesem Unterkapitel mittels Literatur erarbeitet werden:

Wer ist unsere Zielkundschaft? [8, S. 9]

Als Zielkundschaft bzw. Nachfrager vom Projektentwicklungen treten entweder Investoren, oder Nutzer auf. Als Zielkundschaft von Projektentwicklungsunternehmen kommen daher folgende Gruppen in Frage: [11, S. 43]

Institutionelle Anleger

Private Anlegerinnen oder Anleger  
Endkundinnen oder Endkunden (Eigennutzen)  
Mieterinnen oder Mieter  
Unternehmen bzw. Organisationen

Um die Kundinnen und Kunden anzusprechen, stellen OSTERWALDER und PIGNEUR folgende Frage: [6, S. 30 f.]

Über welche Kanäle werden die Kundinnen und Kunden erreicht?

Für den Vertrieb von Immobilienprojekten bestehen im Wesentlichen zwei mögliche Gestaltungsformen (Formen von Distributionssystemen): [12, 699 f.]

Eigenvertrieb (auch direkter Vertrieb bzw. Kanal bezeichnet)  
oder Fremdvertrieb (auch indirekter Vertrieb oder Mehrstufenkanal bezeichnet)

Beim Eigenvertrieb vermarktet das Projektentwicklungsunternehmen die Immobilie mit eigenem Personal. Hierfür sind personelle Kapazitäten mit Know-how im Vertrieb notwendig. [13, S. 574]

Durch den Fremdvertrieb bedienen sich Projektentwicklungsunternehmen externer Personen oder Organisation, welche den Vertrieb der Immobilie übernehmen. Maklerunternehmen gelten hierbei als klassische, indirekte Vertriebsform. [13, S. 384]

Neben den beiden Vertriebsformen (Distributionskanälen) bestehen auch unterschiedliche Kommunikationskanäle: [12, S. 677 ff.]

Klassische Werbung  
Direktmarketing  
Digitale Immobilienkommunikation (wie Homepage, Social Media, Immobilienbörsen)  
Event Marketing  
Baustellen-Marketing (Point-of-Sale-Marketing)  
Public Relations

Neben den Kanälen fragen OSTERWALDER und PIGNEUR auch nach den Customer Relationships: [6, S. 32 f.]

Welche Art von Beziehung erwarten die Kundinnen und Kunden von uns?

Um Beziehungen mit Kundinnen und Kunden zu gestalten, werden Marketingkonzepte von Immobilienunternehmen mit dem Ansatz des Customer Relationship Management (CRM) ergänzt. [13, S. 365]

Überdies sei eine aktive Gestaltung der Beziehung zwischen Projektentwicklungsunternehmen und Nachfragern von hoher Bedeutung. Dazu gehört ein professionelles Beschwerdemanagement. Denn oft wirkt eine unzu-

friedene Mieterin bzw. ein unzufriedener Mieter als Multiplikator oder verursacht vermeidbare Wechselkosten. Beschwerdemanagement kann beispielsweise nutzbringend für die Projektentwicklung eingesetzt werden. [13, S. 367 f.]

Jedoch vernachlässigen Projektentwicklungsunternehmen nach CHEN et. al. bisher oft die individuellen Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzern von Immobilien, stattdessen fokussieren sich diese zu stark auf die Rendite der Investorinnen oder Investoren. [14, S.8.]

### 3.2 Nutzenversprechen

Als Nutzenversprechen bzw. Wertangebot werden die Produkte und Dienstleistungen verstanden, welche den Kundinnen und Kunden Wert schöpfen. [6, S. 26]

Bei Projektentwicklungsunternehmen sind dies in erster Linie die Immobilien bzw. deren Entwicklung als Dienstleistung.

Das Projektentwicklungsunternehmen kann sowohl als Zwischeninvestor als auch als Dienstleister agieren. Als Zwischeninvestor entwickelt das Unternehmen die Projektidee, befindet sich im Eigentum des Grundstückes, lässt in den meisten Fällen das Immobilienprojekt errichten, um es anschließend gewinnbringend zu vermarkten. Agiert das Projektentwicklungsunternehmen als Dienstleister, wird dieses vom Grundstückseigentümer mit der Entwicklung, in der Regel samt der Erstellung, der Immobilie beauftragt. Der Projektentwickler handelt in diesem Fall im fremden Namen und auf fremde Rechnung. Die Leistungserbringung dieser beiden Typen unterscheidet sich kaum. Hinsichtlich des zu tragenden wirtschaftlichen Risikos gibt es gravierende Unterschiede. Als Zwischeninvestor trägt das Projektentwicklungsunternehmen das volle wirtschaftliche Risiko, als Dienstleister fällt dieses deutlich geringer aus, da diesen das Verwertungsrisiko meist nicht voll trifft. [13, S. 28]

Das Nutzenversprechen von Projektentwicklungsunternehmen kann betreffend der Immobilienarten (bzw. auch Assetklassen genannt) unterteilt werden: [15, S. 21]

- Wohnimmobilien
- Gewerbeimmobilien für z.B.:
- Hotellerie
- Handel
- Logistik
- Gewerbe
- Sonderimmobilien, wie z.B.:
- Seniorenheime
- Kultur
- Etc.

Darüber hinaus erwarten MEYER und KIRCHBERGER, dass Projektentwicklungsunternehmen künftig verstärkt als ganzheitlicher Dienstleister für Nutzerinnen und Nutzer bzw. Investorinnen und Investoren auftreten werden. Dies beinhaltet Services rund um den Gebäudebetrieb bzw. während der gesamten Nutzungsphase. Die Nutzerinnen bzw. Nutzer entwickeln sich hierbei zu Full-Service-Usern, welche die Immobilie einschließlich des vollständigen Dienstleistungsangebots in Anspruch nehmen. [16, S. 484]

Grundsätzlich ist es das primäre Ziel der Immobiliennutzerinnen und -nutzer, ihr individuelles Nutzenkostenverhältnis im Rahmen der individuellen Entscheidung für eine Immobilie zu maximieren. Jedoch sind Investorinnen bzw. Investoren bestrebt, die Rendite auf ihr eingesetztes Kapital zu maximieren. Überdies versuchen die Projektentwicklungsunternehmen ihre eigenen Erträge zu maximieren. Diese drei Ziele stehen sich entgegen und können dementsprechend zu Konflikten innerhalb einer Projektentwicklung führen. Es ist eine der wesentlichen Herausforderungen für ein Projektentwicklungsunternehmen, innerhalb dieses Spannungsfeldes die jeweiligen Ziele der o.g. Stakeholder zu berücksichtigen und diese im Sinne eines nachhaltig erfolgreichen Projektes miteinander zu vereinen. [16, S. 474]

### 3.3 Wertschöpfungskette

In diesem Unterkapitel wird eine allgemeine Antwort für die dritte Frage nach GASSMANN et.al. in Bezug auf Projektentwicklungsunternehmen aus der Literatur abgeleitet.

Die Frage lautet:

Wie stellen wir die Leistung her? (Wertschöpfungskette) [8, S. 9]

Aus Sicht des Projektentwicklungsunternehmens können Projektentwicklungen aufgrund ihrer Wertschöpfungsketten in drei Typen unterschieden werden: [13, S. 539]

- Projektentwicklung im engeren Sinne
- Projektentwicklung im mittleren Sinne
- Projektentwicklung im weiteren Sinne

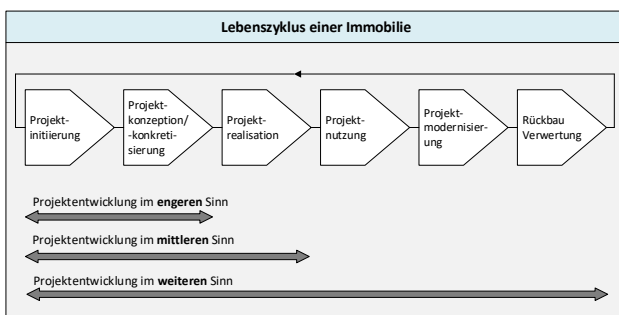
**Projektentwicklung im engeren Sinne** umfasst damit die Entwicklung einer Projektidee bis hin zur Entwurfsplanung und Genehmigungsplanung. [13, S. 538]

Bei einer Projektentwicklung im engeren Sinne findet der Exit mittels Verkauf nach vorliegender Baugenehmigung, jedenfalls noch vor der baulichen Realisierung, statt.

Wird die Errichtung der Immobilie als weitere Leistung vom Projektentwicklungsunternehmen erbracht, wird dies als **Projektentwicklung im mittleren Sinne** verstanden. Hierbei wird nicht nur mehr ein Immobilienprojekt entwickelt, sondern tatsächlich eine Immobilie errichtet.

Übernimmt das Projektentwicklungsunternehmen darüber hinaus noch Aufgaben während der Nutzungsphase, so handelt es sich um einen **Projektentwicklung im weiteren Sinne**. Die Projektentwicklung im weiteren Sinne beinhaltet hierbei den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie, von der Projektidee über die Planung, die bauliche Umsetzung, die Nutzung bzw. den Betrieb über die Umnutzung bis hin zum Rückbau bzw. Verwertung. Somit sind auch das Projektmanagement und das Facility Management bzw. die Immobilienbewirtschaftung mit enthalten. [13, S. 538 f.]

Der nachstehenden Abbildung sind die unterschiedlichen Wertschöpfungsketten von Projektentwicklungsunternehmen im Lebenszyklus einer Immobilie zu entnehmen.



**Bild 4** Wertschöpfungsketten von Projektentwicklungsunternehmen im Lebenszyklus einer Immobilie [17]

Ergänzend dazu zeigt eine Fallstudie von YDERFÄLT und ROXENHALL, dass Projektentwicklungsunternehmen verstärkt Bedürfnisse und Wünsche der Immobiliennutzerinnen und -nutzer ins Zentrum der Aktivitäten und Wertschöpfung stellen sollten. [18, S. 667]

Derzeit bleiben in der Immobilienwirtschaft Potentiale betreffend endkundenorientierter Geschäftsprozesse über die gesamte Wertschöpfungskette oftmals ungenutzt, welche mit einer Steigerung der Nutzerzufriedenheit einhergehen würden. Besonders Projektentwicklungsunternehmen könnten mittels einer vertikalen Integration ihre Wertschöpfungskette aktiv gestalten und innovieren. [19, S. 66 f.]

OSTERWALDER und PIGNEUR gehen im Rahmen ihres Geschäftsmodellkonzeptes gesondert auf die Schlüsselressourcen, Schlüsselaktivitäten und Schlüsselpartnerschaften ein. [6, S. 38 ff.]

BRAUER beschreibt die Schlüsselressourcen und Schlüsselaktivitäten eines Projektentwicklungsunternehmens wie folgt:

„Projektentwicklertätigkeit ist damit in erster Linie Koordinierungs- und Leitungstätigkeit bei genauer Kenntnis des jeweiligen Immobilienteilmarktes sowie aller Facetten

der Planung, Realisierung und Vermarktung eines Immobilienvorhabens.“ [13, S. 576]

WAGNER und PFNÜR identifizierten mithilfe einer Netzwerkanalyse folgende wesentliche Stakeholder für Projektentwicklungsunternehmen: [19, S. 48 f.]

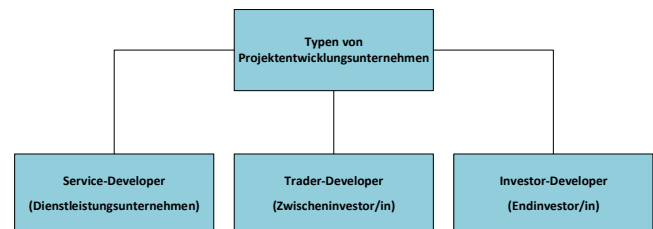
- Nutzerinnen und Nutzer
- Investorinnen und Investoren
- Banken
- Bauunternehmen
- Planende Personen
- Raumplanung
- Asset Management
- Maklerunternehmen

All diese Stakeholder – ausgenommen der Nutzerinnen und Nutzer (siehe dazu Kapitel Zielkundschaft) – können als Schlüsselpartner/innen des Geschäftsmodells von Projektentwicklungsunternehmen verstanden werden.

### 3.4 Ertragsmechanik

Abschließend soll in diesem Unterkapitel die Ertragsmechanik der Projektentwicklungsunternehmen erörtert werden.

In **Bild 5** werden zum Beispiel drei unterschiedliche Typen von Projektentwicklungsunternehmen dargestellt, welche als Ausgangsbasis für eine differenzierte Betrachtung von Geschäftsmodellen in der Projektentwicklung herangezogen werden könnten.



**Bild 5** Developer-Typen [20]

Der **Service-Developer** agiert als Dienstleister für eine Investorin oder einen Investor. Dieser bringt damit kein eigenes Kapital in die Projektentwicklung ein, sondern erhält ein Honorar für seine Tätigkeiten (Management Fee).

Hingegen wird der **Trader-Developer** als klassisches Projektentwicklungsunternehmen verstanden. Dieses tritt als Zwischeninvestor auf, investiert somit eigenes Kapital in die Projektentwicklung. Anschließend verkauft er seine Projektentwicklung an eine Endinvestorin oder einen Endinvestor. Der spätere Lebenszyklus der Immobilie ist für den Trader-Developer nicht erfolgsentscheidend.

Als **Investor-Developer** wird ein Endinvestor beschrieben, welcher selbst Projektentwicklungen vornimmt.

Meistens handelt es sich hierbei um Bestandshalter, welche ihr Immobilienportfolio mit Eigenentwicklungen kontinuierlich ausbauen. [21, S. 8 f.]

Der Investor-Developer verdient daher am gesamten Lebenszyklus der Immobilie, in der Regel durch laufende Mieteinnahmen und eventuell zusätzlicher Servicedienstleistungen entlang der Nutzungsphase.

Für den Trader-Developer dient der Verkauf als klassische Ertragsmechanik.

WAGNER und PFNÜR stellten fest, dass der Druck auf Immobilienprojektentwicklungsunternehmen wächst und gleichzeitig bei Nutzerinnen und Nutzern bzw. Investorinnen und Investoren die Erwartungshaltung und Zahlungsbereitschaft für immobilienwirtschaftliche Innovationen und Serviceorientierung wachsen. So zeigt sich auch für die Immobilienwirtschaft, dass ein zunehmendes Wachstum rund um Service-Geschäftsmodelle besteht. [19, S. 68]

Es ist daher zu erwarten, dass Projektentwicklungsunternehmen künftig vermehrt als Serviceanbieter über den gesamten Lebenszyklus der Immobilie auftreten. Dies würde mit einer starken Änderung der Ertragsmechanik einhergehen.

OSTERWALDER und PIGNEUR thematisieren im Rahmen ihres Geschäftsmodellkonzeptes zusätzlich die Kostenstruktur, welche die wesentlichen mit dem Geschäftsmodell verbundenen Kosten beschreibt. [6, S. 44 f.]

Die Kostengruppen für die Errichtung einer Immobilienprojektentwicklung im Hochbau können weitestgehend aus der ÖNORM B 1801-1 entnommen werden: [22]

- KG 0: Grund
- KG 1: Aufschließung
- KG 2: Bauwerk-Rohbau
- KG 3: Bauwerk-Technik
- KG 4: Bauwerk-Ausbau
- KG 5: Einrichtung
- KG 6: Außenanlagen
- KG 7: Planungsleistungen
- KG 8: Projektnebenleistungen
- KG 9: Reserven

Zusätzlich zu den Kostengruppen der ÖNORM B 1801-1 sind folgende Kosten für Projektentwicklungsunternehmen von Relevanz:

- Finanzierungskosten des Gesamtprojektes
- Kosten für Vertrieb (samt Mietgarantien etc.) und Marketing
- Kosten der Projektentwicklungsunternehmung, wie Personalkosten etc.

Für die Kostenstruktur von Investor-Developern sei auf die ÖNORM B 1801-2 betreffend Objekt-Folgekosten [23] und auf die ÖNORM B 1801-4 betreffend Lebenszykluskosten [24] verwiesen.

## 4 Zusammenfassung

Zusammengefasst kann der Beitrag als eine Basis für weiterführende Untersuchungen von Geschäftsmodellen in der Projektentwicklung herangezogen werden.

Auf Grundlage der gegenständlichen Literaturrecherche lässt sich ein Geschäftsmodell eines Projektentwicklungsunternehmens im Wesentlichen durch folgende Elemente unterscheiden:

- Zielkundschaft
- Institutionelle Anleger
- Private Anlegerinnen oder Anleger
- Endkundinnen oder Endkunden
- Mieterinnen oder Mieter
- Unternehmen bzw. Organisationen
- Nutzenversprechen
- Unterteilt in unterschiedliche Assetklassen (Nutzungsarten)
- Zusätzliche Services entlang der gesamten Nutzungsphase
- Wertschöpfungskette
- Projektentwicklung im engeren Sinne
- Projektentwicklung im mittleren Sinne
- Projektentwicklung im weiteren Sinne
- Ertragsmechanik
- Verkauf (Trader-Developer)
- Vermietung (Investor-Developer)
- Einnahmen durch zusätzliche Services
- Management-Fee als Service-Developer

Da im Rahmen des gegenständlichen Beitrages als Methodik bloß eine Literaturrecherche stattgefunden hat, sind die skizzierten Ergebnisse lediglich ein Abbild der aktuellen Literatur. Ob diese Darstellung an Geschäftsmodell-Elementen empirisch tatsächlich bestätigt bzw. erhoben werden kann, bleibt weiterhin offen.

Es werden daher weitere wissenschaftliche Untersuchungen zum Thema Geschäftsmodelle von Projektentwicklungsunternehmen bzw. Immobilienunternehmen von besonderem Interesse sein.

Sobald die unterschiedlichen Geschäftsmodelle erhoben wurden, können zusätzlich auch denkbare Geschäftsmodellinnovationen in diesem Bereich näher untersucht werden.

## 5 Literatur

- [1] KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M.: *Bau-Projekt-Management. Grundlagen und Vorgehensweisen*. Springer Vieweg, 2018. ISBN 978-3-8348-1823-2.
- [2] SCHALLMO, D.: *Geschäftsmodelle erfolgreich entwickeln und implementieren. Mit Aufgaben, Kontrollfragen und Templates*. 2. Auflage. Springer Berlin Heidelberg, 2018. ISBN 978-3-662-57604-5.
- [3] LIU, G. et al.: *STRATEGIC BUSINESS MODEL TYPOLOGIES EVIDENT IN THE CHINESE REAL-ESTATE INDUSTRY*. In: International Journal of Strategic Property Management, 22/2018. Issue 6. ISSN: 1648-715X.
- [4] AMIT, R.; ZOTT, C.: *Value creation in E-business*. In: Strategic Management Journal, 22/2001. DOI: 10.1002/smj.187.
- [5] MAGRETTA, J.: *Why Business Models Matter*. In: Harvard Business Review, May/2002.
- [6] OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.: *Business Model Generation: Ein Handbuch für Visionäre, Spielveränderer und Herausforderer*. Frankfurt/New York. Campus Verlag, 2011. ISBN 978-3-593-39474-9.
- [7] BIEGER, T.; KNYPHAUSEN-AUFSEß, D.; KRYS, C.: *Innovative Geschäftsmodelle. Konzeptionelle Grundlagen, Gestaltungsfelder und unternehmerische Praxis*. 1. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer, 2011. ISBN 978-3-642-18067-5.
- [8] GASSMANN, O.; FRANKENBERGER, K.; CHOUDURY, M.: *Geschäftsmodelle entwickeln. 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator*. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. München. CARL HANSER Verlag, 2020. ISBN 978-3-446-46521-3.
- [9] DIEDERICHS, C. J.: *Grundlagen der Projektentwicklung: Teil 1*. In: Bauwirtschaft, 11/1994.
- [10] SCHULTE, K.-W. (Hrsg.): *Volkswirtschaftliche Grundlagen*. 1. Aufl. München. Oldenbourg, 2008. ISBN 978-3-486-58281-9. S. 60; in Anlehnung an: ISENHÖFER, B.: *Strategisches Management von Projektentwicklungsunternehmen*. Hrsg.: SCHULTE, K.-W. In: *Schriften zur Immobilienökonomie*. EUROPEAN BUSINESS SCHOOL. ISBN 3-932687-35-3. S. 45.
- [11] ISENHÖFER, B.: *Strategisches Management von Projektentwicklungsunternehmen*. Hrsg.: SCHULTE, K.-W. In: *Schriften zur Immobilienökonomie*. EUROPEAN BUSINESS SCHOOL. ISBN 3-932687-35-3.
- [12] BONE-WINKEL, S.; SCHULTE, K.-W.; SCHÄFERS, W.: *Immobilienökonomie I. Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. 5., grundlegend überarbeitete Auflage. Berlin. Walter de Gruyter, 2016. 978-3-486-71255-1.
- [13] BRAUER, K.-U.: *Grundlagen der Immobilienwirtschaft*. 10. Auflage. Springer Gabler Fachmedien Wiesbaden, 2019. ISBN 978-3-658-21681-8.
- [14] CHEN, L.; BI, W.; GAO, Y.: *Applying Design Thinking in Real Estate Development*. Hrsg.: RAU, P.-L. P. In: Cross-cultural design: Cham, Switzerland. Springer, 2018. ISBN 978-3-319-92140-2.
- [15] ALDA, W.; HIRSCHNER, J.: *Projektentwicklung in der Immobilienwirtschaft. Grundlagen für die Praxis*. 6. Auflage. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016. ISBN 978-3-658-13929-2.
- [16] MEYER, K.; KIRCHBERGER, K.: *Auswirkungen immobilienwirtschaftlicher Transformation auf die Projektentwicklung*. Hrsg.: PFNÜR, A.; EBERHARDT, M.; HERR, T. In: *TRANSFORMATION DER IMMOBILIENWIRTSCHAFT. Geschäftsmodelle, Strukturen, Prozesse und Produkte im Wandel*: Wiesbaden. Springer Gabler, 2021. ISBN 978-3-658-35362-9.
- [17] In Anlehnung an: BRAUER, K.-U.: *Grundlagen der Immobilienwirtschaft*. 10. Auflage. Springer Gabler Fachmedien Wiesbaden, 2019. ISBN 978-3-658-21681-8. S. 539.
- [18] YDERFÄLT, Å.; ROXENHALL, T.: *Real estate business model innovation and the impact of ego network structure*. In: Management Research Review, 40/2017. No. 6.S. 648-670. <https://doi.org/10.1108/MRR-11-2016-0253>
- [19] WAGNER, B.; PFNÜR, A.: *Veränderungen für Projektentwickler in der immobilienwirtschaftlichen Transformation – Netzwerkanalyse und Stakeholder-Interviews zur Bestimmung handlungsrelevanter Einflüsse und strategischer Anpassungen*. In: Zeitschrift für Immobilienökonomie, 8/2022. <https://doi.org/10.1365/s41056-021-00056-6>
- [20] In Anlehnung an: KÖSTER, G. N.: *Projektentwicklung von Immobilien. Grundlagenwissen und Handlungsempfehlungen*. Wiesbaden. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021. ISBN 978-3-658-35875-4. S. 9.
- [21] KÖSTER, G. N.: *Projektentwicklung von Immobilien. Grundlagenwissen und Handlungsempfehlungen*. Wiesbaden. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021. ISBN 978-3-658-35875-4.
- [22] AUSTRIAN STANDARDS INTERNATIONAL: *ÖNORM B 1801-1:2022-03. Bauprojekt- und Objektmanagement. Teil 1: Objekterrichtung*. Ausgabe: 2022-03-01. S. 14.
- [23] AUSTRIAN STANDARDS INTERNATIONAL: *ÖNORM B 1801-2:2011. Bauprojekt- und Objektmanagement. Teil 2: Objekt-Folgekosten*. Ausgabe: 2011-04-01.
- [24] AUSTRIAN STANDARDS INTERNATIONAL: *ÖNORM B 1801-4:2014. Bauprojekt- und Objektmanagement. Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten*. Ausgabe: 2014-04-01.

# Auswirkungen der Vorfertigung auf die Arbeitsproduktivität am Beispiel von Stahlbetondecken

Marie-Christin Schrader, TU Braunschweig, Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb (IBB),

Schleinitzstraße 23A, 38106 Braunschweig, m-c.schrader@tu-braunschweig.de

## Kurzfassung

Vor dem Hintergrund der stagnierenden Entwicklung der Arbeitsproduktivität in der Bauwirtschaft wurden bereits diverse Studien mit der Intention durchgeführt, Produktivitätstreiber zu identifizieren. Im Ergebnis geht daraus regelmäßig die Vorfertigung als mögliche Lösung hervor, wobei diese häufig mit anderen Merkmalen des industriellen Bauens (z. B. Standardisierung und Automatisierung) kombiniert wird, ohne Ursache und Wirkung klar voneinander abzugrenzen. In dieser Veröffentlichung soll die Vorfertigung deshalb als reine Verlagerung von Baustellenprozessen in eine stationäre Produktion betrachtet werden. Es ergibt sich die Fragestellung, welche konkreten Aspekte der Vorfertigung tatsächlich Auswirkungen auf die Arbeitsproduktivität haben und ob diese ausschließlich positiv zu bewerten sind. Das Ziel besteht deshalb zum einen in der Identifikation der entscheidenden Einflussfaktoren, die bei einer vergleichenden Betrachtung der in-situ-Fertigung und der Vorfertigung für die Arbeitsproduktivität von Bedeutung sind. Zum anderen soll eine Aussage darüber getroffen werden, ob die Vorfertigung allein zu einer Steigerung der Arbeitsproduktivität führen kann.

## Abstract

Due to the stagnating development of labor productivity in the construction industry, various studies have already been conducted with the intention of identifying productivity drivers. As a result, prefabrication is regularly identified, often in combination with other key features of industrial construction (e. g. standardization and automation) without clearly distinguishing cause and effect. In this publication prefabrication will therefore be considered as a mere shift of construction site processes to a stationary production. The question arises, which aspects in the course of prefabrication can have effects on labor productivity and whether these can be evaluated exclusively positively. The aim is to identify the decisive factors that have an impact on labor productivity when comparing in-situ production and prefabrication. Secondly, a conclusion is to be made as to whether prefabrication alone can lead to an increase in labor productivity.

## 1 Einleitung und Methodik

Neben innovativen Ansätzen für die Planung und Ausführung von Bauprojekten wie Building-Information-Modelling und Lean Construction wird sowohl national als auch international häufig die Vorfertigung von Bauwerkskomponenten als mögliche Lösung für die Problematik der stagnierenden Produktivitätsentwicklung in der Bauwirtschaft angeführt. Im Vordergrund steht häufig die Einsparung von Bauzeit durch die parallele Fertigung auf der Baustelle und im Werk. [1]

Dabei ist jedoch zu beachten, dass die entsprechenden Veröffentlichungen sowohl unterschiedliche Begriffe (z. B. Off-site Construction, Prefabrication, industrielle Vorfertigung usw.) als auch stark voneinander abweichende Begriffsinhalte thematisieren. Wenn die Vorfertigung als Produktivitätstreiber hervorgehoben wird, so ist es oftmals der Einsatz von Automatisierungstechnologien bzw. die Standardisierung in Planung und Ausführung, die zu einer potentiellen Steigerung der Arbeitsproduktivität führen würden. Die Auswirkungen der alleinigen Verlagerung von Fertigungsprozessen von der Baustelle in eine stationäre Produktion werden dementsprechend mit anderen

Merkmale des industriellen Bauens zusammengeführt, sodass die realen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge nicht deutlich daraus hervorgehen. Daher soll in dieser Veröffentlichung die Frage beantwortet werden, welche Faktoren der Vorfertigung tatsächlich Einfluss auf die Arbeitsproduktivität haben können (positiv oder negativ).

Zu diesem Zweck werden die Auswirkungen im ersten Schritt anhand eines theoretischen Wirk- und Erklärungsmodells für die Arbeitsproduktivität qualitativ analysiert. Im zweiten Schritt erfolgt eine quantitative Gegenüberstellung der Arbeitsproduktivität von Vorfertigungsprozessen und vergleichbaren Baustellenprozessen in Form des konkreten Stundenaufwands, der für die Herstellung eines Stahlbeton-Deckenabschnitts benötigt wird. Dafür sollen Ergebnisse einer am Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb (IBB) der TU Braunschweig durchgeführten Datenerhebung herangezogen werden, welche die Erfassung von Prozessen und Ausführungszeiten innerhalb der Vorfertigung von Deckenelementen beinhaltet.

DOI: 10.17185/dupublico/79161



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 Lizenz (CC BY-NC 4.0)



## 2 Zusammenhang zwischen der Vorfertigung und der Arbeitsproduktivität auf Basis der Literatur

Mit der Kenntnis über die Produktivitätsentwicklung in anderen Wirtschaftsbereichen in den letzten Jahrzehnten und der gleichzeitig vielfach kommunizierten Stagnation in der Bauwirtschaft sind innovative Ansätze zur Generierung einer messbaren Produktivitätssteigerung ein bedeutendes Thema sowohl in der Forschung als auch in der Praxis. Der Fokus liegt dabei überwiegend auf der Arbeitsproduktivität als das Verhältnis von Output und Input in Form von bezahlter Arbeitszeit, da die Bauwerkserrichtung sehr lohnintensiv ist. [2]

*Naoum (2016)* untersuchte mittels einer Literaturanalyse sowie einer Befragung die Faktoren, die die Arbeitsproduktivität beeinflussen und stellt im Zuge dessen einen positiven Zusammenhang zwischen der Vorfertigung von Bauwerkskomponenten und der Arbeitsproduktivität her. [3] Dabei wird unter anderem auf eine Studie von *Eastman/Sacks (2008)* referenziert, mit deren Ergebnis u. a. die folgenden Hypothesen bestätigt werden konnten:

1. Tätigkeiten, die überwiegend auf der Baustelle ausgeführt werden, weisen ein geringes oder negatives Produktivitätswachstum auf.
2. Tätigkeiten, die teilweise auf der Baustelle und teilweise in der stationären Produktion ausgeführt werden, zeigen ein stärkeres Produktivitätswachstum im Teil der stationären Produktion.
3. Tätigkeiten, die überwiegend in der stationären Produktion ausgeführt werden, haben im Vergleich zur Bauindustrie insgesamt einen höheren Produktivitätszuwachs. [4]

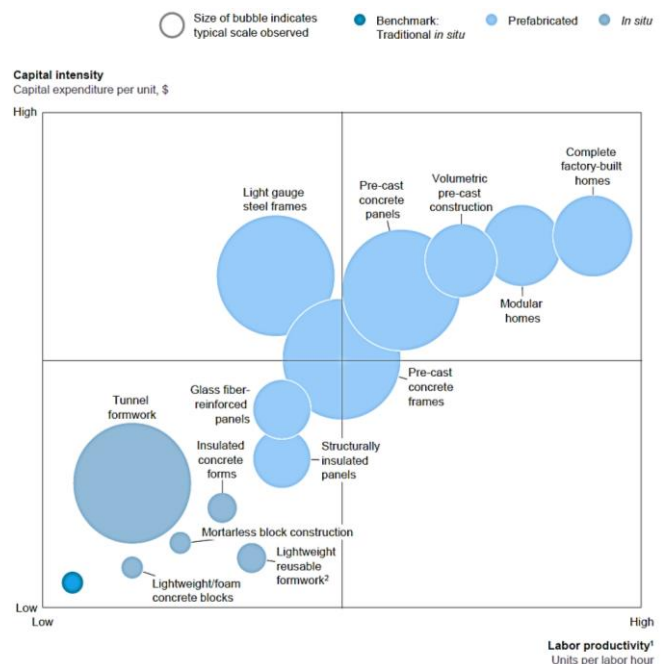
Der Veröffentlichung von *Eastman/Sacks (2008)* ist jedoch ebenfalls die Hypothese zu entnehmen, dass die Vorfertigung überhaupt erst die Anwendung von Technologien der stationären Produktion (wie z. B. Informationstechnologien, Automatisierung, Datenmanagement) ermöglicht. [4]

Das *McKinsey Global Institute* veröffentlichte 2017 einen Report, in welchem der Zusammenhang zwischen der Vorfertigung und der Arbeitsproduktivität durch das folgende **Bild 1** veranschaulicht werden soll. Demzufolge geht die Vorfertigung (hellblau) im Vergleich zur traditionellen Baustellenproduktion (dunkelblau) mit einer deutlich gesteigerten Arbeitsproduktivität einher (x-Achse). Für die Implementierung dieser industriellen Methoden sind jedoch *McKinsey* zufolge ebenfalls hohe Investitionen erforderlich (y-Achse). [5]

Weiterhin wurde im Rahmen einer Veröffentlichung zur Produktivität im Bauhauptgewerbe des *Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb der TU Braunschweig* eine Metastudie durchgeführt und Literatur hinsichtlich bestehender Produktivitätstreiber ausgewertet, wonach die Vorfertigung neben der Robotik und dem Baumanagement mit ca. 13 % gleichermaßen häufig thematisiert wurde. [6]

Eine aktuelle Veröffentlichung von *EY-Parthenon* gemeinsam mit *BayWa* aus dem Jahr 2023 sieht die industrielle Vorfertigung als einen der größten und wichtigsten Hebel, um eine Produktivitätssteigerung zu erreichen. Durch die Verlagerung von Arbeitsschritten von der Baustelle in die kontrollierte und (teil)automatisierte Umgebung einer Werkshalle könne demnach viel verkürzt, qualitativ verbessert und vereinfacht werden.

Die industrielle Vorfertigung umfasst in diesem Beitrag das produktsystembasierte, elementierte sowie modulare Bauen und es lässt sich erneut schlussfolgern, dass nicht die Vorfertigung allein, sondern auch anderen Aspekte, wie die Standardisierung und die Prozessoptimierung als Produktivitätshebel gesehen werden. [7]



**Bild 1** Zusammenhang zwischen der Arbeitsproduktivität und dem Kapitalaufwand bei unterschiedlichen industriellen Bauverfahren [7]

## 3 Qualitative Ableitung der Auswirkungen von Vorfertigung auf die Arbeitsproduktivität

Im Folgenden soll anhand eines bereits existierenden Wirk- und Erklärungsmodells abgeleitet werden, welche für die Vorfertigung geltenden Faktoren einen potentiell positiven, negativen oder neutralen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität haben.

### 3.1 Modell und Ausgangssituation

Die Produktivität ist im Allgemeinen als das Verhältnis von Output und Input definiert. Beim Output handelt es sich in der Regel um das Produkt (Erfassung z. B. durch die Anzahl der produzierten Stückzahlen oder die monetäre Bewertung der Leistung), während der Input den benötigten

Ressourceneinsatz repräsentiert. Je nachdem, welcher Input betrachtet wird, können mehrere Teilproduktivitäten unterschieden werden. Neben der Arbeitsproduktivität gibt es beispielweise die Kapital- oder die Maschinenproduktivität. [8]

Die hier fokussierte Arbeitsproduktivität basiert auf der bezahlten Arbeitszeit der Mitarbeitenden, die zur Generierung eines bestimmten Outputs aufgewendet wird und hat daher einen entscheidenden Einfluss auf den Anteil der Lohnkosten an der Bauproduktion. Im Gegensatz zur maschinellen Produktion variieren die Tätigkeiten, die Mitarbeitende durchführen sowie die Zustände, die sie einnehmen können stärker. [8] Außerdem trägt ein bedeutender Anteil dieser Tätigkeiten bzw. Zustände nicht primär zur Wertschöpfung bei.

Die Autoren *Glöckner/Grabner des Instituts für Produktionsmanagement und -technik der TU Hamburg* erarbeiteten 2017 im Rahmen eines Forschungsprojekts ein vollständiges Modell der Arbeitsproduktivität. Das Modell umfasst eine Zielgröße – die Arbeitsproduktivität – sowie vier Regelgrößen, die die bezahlte Arbeitszeit wie folgt abbilden:

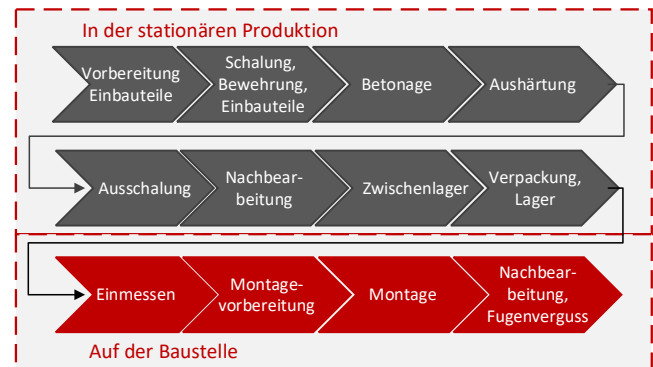
1. Durchführung der Arbeitsaufgabe
2. Auslastungsverluste
3. Ungeplante Abwesenheit
4. Geplante Abwesenheit [8]

Das Modell wird durch verschiedene Stellgrößen und zugehörige Gestaltungsaufgaben ergänzt, die die Regelgrößen beeinflussen. Die Stellgrößen konkretisieren Tätigkeiten und Mitarbeiterzustände, die im Folgenden noch genauer erläutert werden und im **Bild 4** dargestellt sind. [8]

Die folgende modellbasierte Ableitung soll auf der Grundlage des bestehenden Modells von *Glöckner/Grabner (2017)* erfolgen. Das Ziel besteht darin, jeweils eine Aussage darüber zu treffen, ob die Vorfertigung einen potentiell positiven, negativen oder neutralen Einfluss auf die Stell- und Regelgrößen hat, was sich anhand des Modells wiederum auf die Arbeitsproduktivität auswirken würde. Die Prognose der Auswirkungen basiert dabei auf Erfahrungen, die im Rahmen eines Forschungsprojekts am *Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb der TU Braunschweig* in den Jahren 2020/21 gesammelt werden konnten. Gegenstand des Forschungsprojekts waren die Aufnahme und Darstellung sämtlicher Fertigungsprozesse sowie die Erfassung von konkreten Ausführungsdauern bei der Vorfertigung von Deckenelementen aus Stahlbeton.

Im Rahmen des aus dem Forschungsprojekt abgeleiteten Modellbeispiels werden Deckenelemente in der stationären Produktionshalle vorgefertigt, anschließend verpackt, gelagert und zur Baustelle transportiert. Sämtliche Materialien liegen in einem Materiallager vor. Der Beton wird in Form von Transportbeton arbeitstäglich zur Produktionshalle bestellt und dort eingebaut. Die fertigen Deckenelemente werden nach dem Ausschalen, der Nachbearbeitung und Verpackung mindestens 21 Kalendertage auf dem Gelände der Produktion gelagert und dann per LKW zur

entsprechenden Baustelle gebracht. Die Mitarbeitenden sind fest angestellt und kontinuierlich in der Vorfertigung der Deckenelemente tätig (siehe **Bild 2**).



**Bild 2** Visualisierung der Prozessschritte im Rahmen der Vorfertigung und Montage von Deckenelementen

Die Vorfertigung wird in der folgenden Modellbetrachtung als reine Verlagerung von Baustellenprozessen in eine stationäre Produktion betrachtet. Im Gegensatz zur traditionellen Ortbetonproduktion, die das Einschalen, Bewehren, Betonieren, Ausschalen und Nachbearbeiten einer Stahlbetondecke auf der Baustelle umfasst, finden diese Prozesse bei der Vorfertigung in einem Werk statt, sodass die Stahlbetondeckenelemente auf der Baustelle lediglich montiert und vergossen werden müssen (siehe **Bild 2**). Dies bedeutet für die Ausführung der Fertigungsschritte insbesondere eine Vermeidung wechselnder Produktionsstandorte sowie die weitgehende Unabhängigkeit von ungünstigen Witterungsbedingungen. [9, 10]

Da der Fokus in dieser Veröffentlichung ausschließlich auf der Vorfertigung liegt, werden die Einflussfaktoren nachfolgend möglichst frei von anderen Merkmalen des industriellen Bauens analysiert, welche mit der Vorfertigung häufig einhergehen (z. B. Standardisierung, Mechanisierung oder Automatisierung). Falls Einflüsse vermehrt aus diesen Bereichen erkannt werden, wird gesondert darauf hingewiesen.

### 3.2 Modellbasierte Ableitung der potentiellen Auswirkungen

Im Rahmen der folgenden Untersuchung werden die Auswirkungen der Vorfertigung auf den Stundenaufwand anhand von Erfahrungswerten aus der durchgeführten Prozessanalyse prognostiziert. Dies beinhaltet jeweils das Treffen einer Aussage darüber, ob sich der Stundenaufwand je Stellgröße des beschriebenen Modells von *Glöckner/Grabner* im Gegensatz zur traditionellen Baustellenproduktion tendenziell verringert (positiver Einfluss – grün markiert) oder erhöht (negativer Einfluss – rot markiert) bzw. ob er konstant bleibt (kein Einfluss – grau markiert). Die Aussagen sowie die entsprechenden Begründungen sind dem folgenden **Bild 3** zu entnehmen, während das Ergebnis der Prognose zusammenfassend im Modell für die Arbeitsproduktivität in **Bild 4** veranschaulicht wird.

Regelgröße	Stellgröße	Potentielle Auswirkung der Vorfertigung auf den Stundenaufwand
Durchführung der Arbeitsaufgabe	Material handhabung	positiv Material sowie Werkzeug befinden sich i. d. R. an gleichbleibenden, geschützten Orten und sind eher in einem guten Zustand sowie in ausreichender Menge vorhanden, da sie von gleichbleibenden Mitarbeitenden verwendet und gepflegt werden. Suchprozesse kommen voraussichtlich seltener vor.
	Informationshandhabung	positiv Informationen liegen eher in bekannten Formaten an gleichbleibenden Orten (digital/analog) vor bzw. werden bereitgestellt. Abstimmungen mit Vorgesetzten und anderen Mitarbeitenden haben mehr Routine. Informationswege sind i.d.R. bekannt.
	Arbeitsplatzvor- u. Nachbereitung	positiv Arbeitsplätze sind konstant und vor Witterung geschützt. An einem Arbeitsplatz wurden vermeintlich vorher bereits mehrmals die gleichen Tätigkeiten ausgeführt, was den Aufwand von Vorbereitungs-, Reinigungs- und Räumtätigkeiten verringert. Durch feste Arbeitszeiten und strukturiertere Abläufe gibt es für diese Tätigkeiten zumeist geplante Zeiträume.
	Aufgabenbearbeitung	neutral/ positiv Die wertschöpfenden Tätigkeiten sind in der stationären Produktion mit hoher Wahrscheinlichkeit im gleichen Umfang durchzuführen, wie auf der Baustelle. Einen potentiell positiven Einfluss auf den Arbeitsaufwand haben jedoch konstante Witterungsbedingungen, Temperaturen und Lichtverhältnisse.
Auslastungsverluste	Kapazitätsbedingte Auslastungsverluste	negativ/ neutral Dieser Bestandteil ist stark von der Produktionsplanung bzw. der Bauleitung abhängig. Es ist jedoch davon auszugehen, dass auf der Baustelle eher an alternativen Arbeitsplätzen wertschöpfend weitergearbeitet werden kann, während ein Produktionsstillstand in einem Werk wenig Spielraum bietet. Andererseits geht Vorfertigung häufiger mit längeren Vorlaufzeiten für die Kapazitätsplanung einher, weshalb die Reihenfolge der Auftragsbearbeitung früher bekannt sein sollte. Wechsel zwischen
	Störungsbehebung	positiv/ neutral Aufgrund der Witterungsunabhängigkeit in einer stationären Produktion kommt es potentiell zu weniger Störungen an Geräten, weshalb der Aufwand zur Behebung bzw. die Wartezeit auf zuständige Personen geringer ausfällt. Außerdem sind Mitarbeitende zur Störungsbehebung potentiell häufiger vor Ort und daher schneller fertig. Im Gegensatz dazu ist die Flexibilität der Baustellenproduktion i.d.R. höher, sodass alternative Geräte leichter zum Einsatz kommen können.
	Zusätzliche Tätigkeiten	negativ Tätigkeiten, wie Verpacken, Verladen, Verorten und Vergießen, die auf den separaten Transport zur Baustelle zurückzuführen sind, erzeugen einen zusätzlichen Aufwand.
	Nacharbeit	positiv Der gleichbleibende Arbeitsplatz, die Unabhängigkeit von Witterungsbedingungen, gleichbleibende Mitarbeitende, bekannte Wege, usw. ermöglichen eine höhere Ausführungsqualität, was den Aufwand für Nacharbeit eher verringert. Durch den Transport kann es jedoch auch zu zusätzlicher Nacharbeit auf der Baustelle kommen.
Ungeplante Abwesenheit	Krankheit	positiv Krankheitsbedingte Arbeitsausfälle kommen aufgrund der weitestgehend witterungsunabhängigen Ausführung sowie der tendenziell häufigeren Berücksichtigung ergonomischer Gesichtspunkte potentiell seltener vor. Der konstante Standort von Arbeitsplätzen, die bekannten Wege sowie die geringere Anzahl von Schnittstellen mit anderen Gewerken haben positive Auswirkungen auf die Arbeitssicherheit. Die Tätigkeiten finden auf einer Ebene mit gleichbleibenden Arbeitsschutzmaßnahmen statt, weshalb das Absturzrisiko voraussichtlich geringer ist.
	Sonst. Fehlen	neutral
Geplante Abwesenheit	Urlaub und Pausen	neutral
	Weiterbildung	neutral
Zeitanteile werden nicht von Produktionsbedingungen beeinflusst, weshalb sie auf der Baustelle und in einer stationären Produktion tendenziell übereinstimmen.		

**Bild 3** Qualitative Ableitung der Auswirkungen von Vorfertigung auf die Arbeitsproduktivität

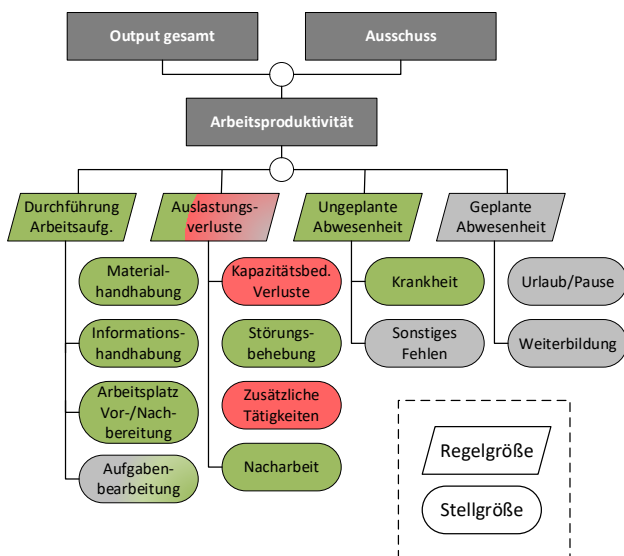
Die Regelgröße **Durchführung der Arbeitsaufgabe** des Modells stellt die Kerntätigkeit der gesamten Leistungserbringungen dar. Sie wird untergliedert in die Stellgrößen Materialhandhabung, Informationshandhabung, Arbeitsplatzvor- und Nachbereitung sowie Aufgabenbearbeitung. Die Aufgabenbearbeitung repräsentiert hierbei den Bereich der wertschöpfenden Tätigkeiten, während die anderen drei Gliederungspunkte als unterstützende Tätigkeiten zu betrachten sind. [8]

**Auslastungsverluste** werden als zweite Regelgröße untersucht. Sie geben insbesondere Warte- und Störzeiten sowie zusätzliche und gleichzeitig nicht-wertschöpfende Prozesse wieder. Sie setzen sich aus den folgenden Stellgrößen zusammen: Kapazitätsbedingte Auslastungsverluste, Störungsbehebung, zusätzliche Tätigkeiten und Nacharbeit. Kapazitätsbedingte Auslastungsverluste sind in erster Linie auf eine unzureichende Kapazitätsplanung seitens der Produktionsplanung- und steuerung zurückzuführen und können auch als Leerlaufzeiten oder Wartezeiten auf Aufträge verstanden werden. Störungen, deren Behebung ebenso die Durchführung der Arbeitsaufgabe unterbrechen, betreffen wiederum technische Anlagen und Geräte. Zusätzliche Tätigkeiten können dagegen sehr unterschiedliche Gründe haben. Zu nennen sind dabei z. B. für die Wert-

schöpfung unnötige Arbeiten, wie vermeidbare Transporte oder ineffiziente Besprechungen. Infolge einer unzureichenden Ausführungsqualität kann schließlich Nacharbeit erforderlich werden, die ebenfalls zu den Auslastungsverlusten zählt. [8] **Ungeplante Abwesenheiten** umfassen die Zeit, in der eine Arbeitskraft eingeplant, aber nicht anwesend ist. Sie setzt sich aus dem krankheitsbedingten und dem sonstigen Fehlen zusammen. Dagegen beschreibt die **geplante Abwesenheit** die Zeit, die eine Arbeitskraft nicht eingeplant ist, weil sie sich bei Weiterbildungsveranstaltungen befindet oder Pause bzw. Urlaub hat. [8]

Im Ergebnis ist davon auszugehen, dass die potentiellen Auswirkungen der Vorfertigung auf die Arbeitsproduktivität überwiegend positiv sind. Das heißt der Stundenaufwand, der innerhalb der in **Bild 4** dargestellten Regelgrößen anfällt, kann durch die Verlagerung von Fertigungsprozessen von der Baustelle in eine stationäre Produktion in den meisten Bereichen verringert werden. Insbesondere im Rahmen der Durchführung der Arbeitsaufgabe als Kerntätigkeit bzw. wertschöpfende Tätigkeit sowie der unterstützenden Tätigkeiten der Material- und Informationshandhabung besteht ein großes Potential zur Verringerung des Stundenaufwand, was unmittelbar eine Erhöhung der Arbeitsproduktivität zur Folge hätte.

Gegebenenfalls negative Auswirkungen wurden lediglich bei den kapazitätsbedingten Auslastungsverlusten und den zusätzlichen Tätigkeiten identifiziert (siehe **Bild 4**). Dies ist einerseits auf den tendenziell besser strukturierten und langfristiger geplanten Produktionsablauf in der Vorfertigung zurückzuführen, der jedoch gleichzeitig weniger Flexibilität bei eintretenden Störungen und Stillständen ermöglicht. Daraus ergeben sich dann eventuell frei verfügbare Personalkapazitäten, die nicht ohne weiteres für alternative wertschöpfende Tätigkeiten eingesetzt werden können. Andererseits resultieren aus der Durchführung von Fertigungsprozessen abseits der Baustelle zusätzliche Tätigkeiten in erheblichem Umfang, die in erster Linie mit der Logistik einhergehen. Dazu gehören Maßnahmen zum Schutz der Bauteile, zur Lagerung, zur Kennzeichnung und Verortung, zum Transport bis zur Baustelle sowie auf der Baustelle. Hinzu kommen die Montage und der Fugenvergruss.



**Bild 4** Wirk- und Erklärungsmodell für die Arbeitsproduktivität in Anlehnung an Glöckner/Grabner (2017) [8] mit der Darstellung der potentiellen Auswirkungen von Vorfertigung auf den Stundenaufwand innerhalb der Stell- und Regelgrößen.

Insgesamt ergeben sich aus der Untersuchung zwei zentrale Einflussfaktoren, die mit der Vorfertigung direkt zusammenhängen und die Ableitung der überwiegend positiven Auswirkungen verursachen. Das ist zum einen die Unabhängigkeit von der Witterung durch die Ausführung in einer Produktionshalle. Damit liegen konstante Umgebungsbedingungen, Temperaturen und Lichtverhältnisse vor. Zum anderen finden die Tätigkeiten standortgebunden, an gleichbleibenden Arbeitsplätzen mit mehr Routine bei Detailabläufen und in Abstimmungsprozessen statt, so dass jedem Mitarbeitenden sämtliche Wege für Informationen, Material und Werkzeug eher bekannt sind. Hinsichtlich der Deutung des Untersuchungsergebnisses ist hinzuzufügen, dass es sich bei den qualitativen Aussagen über den Einfluss der Vorfertigung auf den Stundenaufwand um Tendenzen handelt, die aus Erfahrungswerten

ableitet wurden. Der tatsächliche Stundenaufwand, den eine Arbeitskraft für jede der Regel- und Stellgrößen aufbringen muss, ist von zahlreichen weiteren Einflussfaktoren abhängig. Innerhalb einer Vorfertigung von Bauwerkskomponenten existiert ein ebenso breites Spektrum an Möglichkeiten, Tätigkeiten produktiv oder unproduktiv auszuführen (analog zu anderen stationären Produktionen oder der in-situ-Produktion auf Baustellen). Faktoren wie die Produktionsplanung, die baulichen oder technischen Voraussetzungen, die Motivation, die Zusammenarbeit und allgemeine Fähigkeiten der Mitarbeitenden spielen eine entscheidende Rolle für die Arbeitsproduktivität. Ebenso kann eine geeignete Produktionsplanung (z. B. im Rahmen von LEAN-Construction) die Arbeitsproduktivität auf der Baustelle stark verbessern.

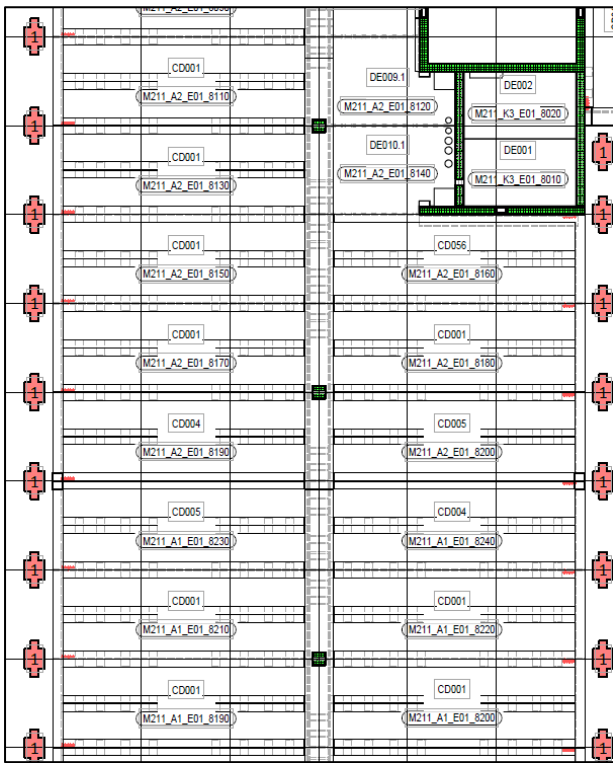
## 4 Quantitative Gegenüberstellung des Stundenaufwands für die Vorfertigung sowie die Baustellenfertigung einer Stahlbetondecke

Im zweiten Teil der Untersuchung werden Stundenaufwandswerte aus der Vorfertigung von Stahlbeton-Deckenelementen, die im Zuge einer Datenerhebung gemessen werden konnten, den entsprechenden Aufwandswerten für die Ortbetonproduktion einer Stahlbetondecke auf der Grundlage von Literatur gegenübergestellt. Zusätzlich zur qualitativen Aussage über den Einfluss der Vorfertigung auf die Arbeitsproduktivität in Kapitel 3 soll auf diese Weise ein quantitativer Vergleich angestellt werden.

Die Datenerhebung entstammt dem bereits geschilderten Forschungsprojekt des *IBB der TU Braunschweig* aus den Jahren 2020/2021 und umfasst den Stundenaufwand für die in der stationären Produktion durchgeführten Teilprozesse zur Vorfertigung von Deckenelementen (siehe **Bild 2**). Da die Datenerhebung den Stundenaufwand für die Montage der Elemente auf der Baustelle nicht umfasst, werden für diese Prozesse Annahmen getroffen und ebenfalls Literaturwerte herangezogen.

### 4.1 Grundlagen der Beispielrechnung

Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, wird die Gegenüberstellung des Stundenaufwands auf der Grundlage eines definierten Deckenabschnitts aus einem Beispielprojekt erstellt. Dabei handelt es sich um einen Abschnitt von 343 m<sup>2</sup> einer 20 cm starken Stahlbetondecke über dem insgesamt rund 2480 m<sup>2</sup> großen 1. Obergeschoss eines Bürogebäudes. Der in **Bild 5** dargestellte Deckenabschnitt enthält insgesamt 18 Elemente und 8 Typen.



**Bild 5** Auszug aus einem Montageübersichtsplan für die Decke über dem 1. OG eines Beispielprojekts

Eine Herausforderung zur Generierung repräsentativer Vergleichswerte ist die Ermittlung des spezifischen Schaufwands für einen Elementtyp in der Vorfertigung (je nach Einsatzhäufigkeit im Gebäude). Dabei ist zu beachten, dass verschiedene Elementtypen unterschiedlich häufig hergestellt und eingesetzt werden. Ein Standardtyp, der sehr häufig vorkommt, ist beispielsweise „CD001“ (siehe **Bild 5**), während „DE 010.1“ im 1. OG des Beispielgebäudes nur einmal geplant ist. Darüber hinaus variiert der Schaufwand für die unterschiedlichen Typen je nach Komplexität sehr stark. Dies ist jedoch bei der Herstellung der Deckenschalung auf der Baustelle ebenso der Fall, da Eckbereiche mit Aussparungen o. ä. mehr Aufwand verursachen als ebene Flächen ohne Besonderheiten.

In der Tabelle im folgenden **Bild 6** wird allen Elementtypen, die im ausgewählten Deckenabschnitt vorkommen, die entsprechende Fläche zugeordnet. Anschließend wird der Anteil an der Gesamtfläche des jeweiligen Typs im 1. OG des Beispielgebäudes ermittelt. Durch die Übertragung dieses Anteils auf den im Durchschnitt gemessenen Stundenaufwand von 8,00 Std., den eine Arbeitsgruppe von Facharbeitern durchschnittlich benötigt, um die Schalung für ein Element am Schaltisch herzustellen, kann der verhältnismäßige Aufwand je nach Einsatzhäufigkeit annähernd ermittelt werden. Der Stundenaufwand für das Einschalen fällt damit umso geringer aus, je mehr Elemente von einem Typ zum Einsatz kommen.

Elementtyp	Fläche Beispiel [in m <sup>2</sup> ]	Fläche gesamt [in m <sup>2</sup> ]	Anteil der Beispielfläche an der Gesamtfläche	Verhältniswert Schaufwand je Typ [in Std]
CD 001	196,83	1137,24	17%	1,38
CD 004	43,74	87,48	50%	4,00
CD 005	43,74	131,22	33%	2,67
CD 056	21,87	65,61	33%	2,67
DE 001	7,26	14,52	50%	4,00
DE 002	7,26	14,52	50%	4,00
DE 009.1	10,48	20,96	50%	4,00
DE 010.1	11,88	11,88	100%	8,00
Summe	343	2479		

**Bild 6** Ermittlung des spezifischen Schaufwands in Abhängigkeit des Elementtyps und dessen Einsatzhäufigkeit

In der Beispielrechnung soll explizit der Herstellungsprozess der Stahlbetondecke vom Beginn des Einschalens bis zur fertig ausgeschalteten Decke im Vordergrund stehen. Sämtliche logistischen Prozesse hinsichtlich des Antransports von Materialien (Schalung, Bewehrung, Beton, etc.), Personen oder Geräten werden nicht berücksichtigt, obwohl diese in Kapitel 3 als entscheidender Vorteil der Vorfertigung identifiziert wurden. In dieser quantitativen Gegenüberstellung besteht das Ziel nun jedoch darin, den Stundenaufwand für die konkrete „Aufgabenbearbeitung“ bei beiden Varianten zu ermitteln, welche gemäß **Bild 4** der Durchführung der Arbeitsaufgabe zuzuordnen ist und teilweise grau, teilweise grün dargestellt wurde.

## 4.2 Beispielrechnung zum Vergleich des Stundenaufwands in der Vorfertigung gegenüber der traditionellen Baustellenproduktion

Die Berechnung des Stundenaufwands für alle Teilprozesse zur Herstellung des beschriebenen Deckenabschnitts durch Vorfertigung und Montage auf der einen und Baustellenproduktion auf der anderen Seite, ist der Tabelle in **Bild 7** zu entnehmen. Zusätzliche Details zu den herangezogenen Werten und ggf. getroffenen Annahmen werden im Folgenden erläutert.

Sämtliche Aufwandswerte basieren auf der Ausführungszeit, die eine Kolonne/Arbeitsgruppe für eine definierte Menge benötigt. Die Kolonnenstärke variiert dabei zwischen den Teilprozessen, da für einzelne Teilprozesse mehr Arbeitskräfte benötigt werden (z. B. Betonage) als für andere (z. B. Nachbearbeitung).

Weiterhin umfasst der beispielhafte Deckenabschnitt 14 große Elemente (rund 22 m<sup>2</sup>) und 4 kleine Elemente mit maximal der Hälfte der Fläche (siehe **Bild 5**). Dieser Umstand ist für die Berechnung jedoch nicht gesondert zu berücksichtigen, da im Rahmen der Datenerhebung sowohl Stundenaufwandswerte für die Fertigung großer als auch kleiner Elemente erhoben wurden. Insgesamt wurden die Zeitwerte für jeden Teilprozess bei mehreren Durchläufen an unterschiedlichen Elementen gemessen und abschließend gemittelt. Zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts kamen sowohl die Verpackung der Elemente mit Folie als auch das einfache Abdecken mit einer Plane gleicher-

maßen häufig vor, weshalb an dieser Stelle ebenfalls ein Mittelwert der beiden gemessenen Stundenaufwandswerte herangezogen wird.

In der Tabelle in **Bild 7** setzt sich der Wert für die Montage aus den folgenden Bestandteilen zusammen:

- 0,25 Std/Element – Element abladen (Wert entspricht dem Aufwand für Zwischenlagerung)
- 0,45 Std/Element – Element verlegen/verschrauben (Wert entstammt Erfahrungswerten der Projektleitung)
- 0,25 Std/Element – Zulage für das Abkleben, das Einlegen weiterer Bewehrung und die PE-Schnur (Wert entstammt Erfahrungswerten der Projektleitung)
- 0,25 Std/Element – Mineralwolle und Kompriband anbringen (in Datenerhebung erfasst)

Vorfertigung				Traditionelle Baustellenproduktion			
Teilprozesse	Dauer für die Beispieldecke in [Std]	Quelle	Bemerkung	Teilprozesse	Dauer für die Beispieldecke in [Std]	Quelle	Bemerkung
Einschalen	30,7	gemessen (8,0 Std/Element)	Verhältniswert in Abh. des jeweiligen Typs (siehe Bild 7)	Einschalen	48,0 <sup>1</sup>	ARH Tabellen "Systemschalung Decken" (2015), S. 20 = 0,14 Std/m <sup>2</sup>	- Wert enthält Transport, Einschalen und Ausschalen - einfacher Grundriss ohne Innenwände (h = 2,50 - 3,50 m) - Dokadek 30 vom Boden aus = 0,14 Std/m <sup>2</sup>
					89,2 <sup>2</sup>	ARH Tabellen "Systemschalung Decken" (2015), S. 76 = 0,26 Std/m <sup>2</sup>	- Wert enthält Transport, Einschalen und Ausschalen - einfacher Grundriss ohne Innenwände (h = 2,50 - 3,50 m) - PERI Skydeck Fallkopf = 0,26 Std/m <sup>2</sup>
					2,1	ARH Tabellen "Rahmenschalung Wände/Stützen" (2013), S. 39 = 0,26 Std/m <sup>2</sup>	- einhäufig - h bis 2,70 m - MAXIMO Wandschalung - 8 m <sup>2</sup> Randschalung geschätzt
Bewehren	57,5	gemessen (3,2 Std./Element)	-	Bewehren	67,5	ARH Tabellen "Bewehrungsarbeiten" (2001), S. 19 Stabstahl (12 mm) = 18,5 Std/t S. 21 Matte (über 10 kg/m <sup>2</sup> ) = 6,95 Std/t	- Wert enthält transportieren, verteilen und flechten - Bewehrungsgehalt 0,1 t/m <sup>3</sup> - Annahme: 75 % Matte = 15 kg/m <sup>2</sup> - Annahme: 25 % Stab = 5 kg/m <sup>2</sup>
Betonage	13,0	gemessen (0,72 Std/Element)	- Wert auf Grundlage einer Kolonne mit 6 AK - rechnerisch angepasst an 3 AK (analog ARH)	Betonage	20,0	ARH Tabellen "Betonarbeiten" (2001), S. 22 = 0,27 Std/m <sup>2</sup>	- Wert gilt für Kolonne mit 3 AK und enthält auch Verdichten - bewehrte Decke (d = 10 - 20 cm)
Ausschalen	2,7	gemessen (0,15 Std/Element)	-	Ausschalen	-	-	in Einschalen enthalten
Nachbearbeitung	18,0	gemessen (1,0 Std/Element)	-	Nachbearbeitung	-	-	in Betonage enthalten
Verpackung	5,0	gemessen (0,28 Std/Element)	Mittelwert aus Verschweißen mit Folie 0,38 Std/Element und Abdecken mit Plane 0,17 Std/Element				
Zwischenlagerung	4,5	geschätzt (0,25 Std/Element)	auf Basis von Beobachtungen				
Montage auf der Baustelle	21,6	geschätzt (1,2 Std/Element)	(siehe Text) Aufwand für Teilprozesse zusammengefasst (gemessen/geschätzt)				
Fugenverguss	1,8	ARH Tabellen "Betonarbeiten" (2001), S. 26 (Fugenverguss 0,48 Std/m <sup>3</sup> , Abziehen 0,06 Std/m <sup>3</sup> )	- Betonage per 250 l Krankübel - bewehrte Decke (d = bis 20 cm) - Menge mit 0,47 m <sup>3</sup> Beton geschätzt				
Summe	154,7			Summe <sup>1</sup>	137,6		
				Summe <sup>2</sup>	178,8		

**Bild 7** Quantitative Gegenüberstellung des Stundenaufwands für die Vorfertigung und die traditionelle Baustellenproduktion am Beispiel eines ausgewählten Stahlbeton-Deckenabschnitts [11–15]

Sowohl die beiden letztgenannten Werte als auch sämtliche Aufwandswerte für das Schalen, Bewehren und Betonieren bei der traditionellen Baustellenproduktion (rechte Seite der Tabelle in **Bild 7**) entstammen den ARH-Tabellen. Dabei ist zu beachten, dass Aufwandswerte von sehr vielen

Einflüssen abhängig sind und Literaturwerte (wie die ARH-Tabellen) eine große Auswahl an Aufwandswerten für spezifische Randbedingungen zur Verfügung stellen. Demzufolge müssen für diesen quantitativen Vergleich zahlreiche Annahmen getroffen werden, die jeweils in der rechten Spalte der Tabelle erläutert werden

Dieses Spektrum der abweichenden Aufwandswerte wird im Ergebnis der Berechnung deutlich. Für die Vorfertigung ergibt sich eine Dauer für die Herstellung des 343 m<sup>2</sup> großen Deckenabschnitts von 154,7 Stunden, während die Dauer der traditionellen Ortbetonproduktion in zwei Ergebnissen angegeben wird. Auf der Basis eines äußerst niedrigen Aufwandswerts für die Schalarbeiten von 0,14 Std/m<sup>2</sup> ergibt sich eine Dauer von insgesamt 137,6 Stunden, was erkennbar kürzer ist als beim Einsatz von Vorfertigung. Aus dem eher höheren Aufwandswert von 0,26 Std/m<sup>2</sup> resultiert eine Gesamtdauer von 178,8 Stunden. Damit würde die Baustellenfertigung deutlich länger dauern als die Vorfertigung und Montage der gleichen Deckenfläche. Die Abweichung zwischen den Aufwandswerten ist hierbei auf die Wahl der jeweiligen Systemschalung zurückzuführen.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Dauern sämtlicher Teilprozesse, die gemäß der Beispielrechnung in der Vorfertigung stattfinden kürzer ausfallen, als auf der Baustelle. Wohingegen die zusätzlich erforderlichen Tätigkeiten, wie Verpackung, Lagerung und Montage die Dauer des Gesamtprozesses stark verlängern. Dieser Zusammenhang wurde bereits im Rahmen der qualitativen Ableitung der Auswirkungen von Vorfertigung auf die Arbeitsproduktivität in Kapitel 3 prognostiziert.

Durch das Ergebnis der quantitativen Gegenüberstellung in diesem Kapitel wird die zu Beginn dieser Veröffentlichung geäußerte Kritik an der üblichen und undifferenzierten Herstellung eines automatisch positiven Zusammenhangs zwischen der Vorfertigung und der Arbeitsproduktivität bestätigt.

Aus der isolierten Betrachtung der Vorfertigung als Verlagerung von Fertigungsprozessen in eine stationäre Produktion auf der Grundlage eines direkten Prozessvergleichs geht der vermeintliche Vorteil (noch) nicht eindeutig hervor. Infolge der Ausführung von Teilprozessen in der stationären Produktion können zwar Lohnstunden für die unmittelbare Aufgabenbearbeitung eingespart werden. Dieser Vorteil wird jedoch durch die umfangreichen zusätzlichen Tätigkeiten möglicherweise wieder eliminiert. Weiterhin ermöglicht der effiziente Einsatz von Systemschalung auf der Baustelle eine ebenfalls erkennbare Steigerung der Arbeitsproduktivität.

Letztlich ergibt sich die Arbeitsproduktivität aus einem komplexen Zusammenwirken zahlreicher Einflussfaktoren, die bei der Analyse von potentiellen Produktivitätstreibern zu berücksichtigen sind. Einen tendenziell positiven Einfluss haben grundsätzlich ebenfalls Standardisierungs- und Automatisierungsbestrebungen, die in der Praxis eng mit der Vorfertigung verbunden sind demnach zur Generierung von Produktivitätswachstum beitragen.

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Veröffentlichung galt es die Frage zu beantworten, ob die Vorfertigung allein zu einer Steigerung der Arbeitsproduktivität führen kann, wie es in zahlreichen Literaturquellen behauptet wird (siehe Kapitel 2) und welche konkreten Aspekte einen potentiell positiven oder negativ Einfluss haben.

Die qualitative Ableitung möglicher Auswirkungen anhand eines bestehenden Wirk- und Erklärungsmodells in Kapitel 3 ergab diesbezüglich ein überwiegend positives Bild. Ein Großteil des Stundenaufwands kann durch die Verlagerung von Fertigungsprozessen in eine stationäre Produktion tendenziell verringert werden. Lediglich im Bereich der kapazitiven Auslastungsverluste sowie bei zusätzlichen Tätigkeiten wurden potentiell negative Auswirkungen identifiziert. Als zentrale Einflussfaktoren stellten sich die Witterungsunabhängigkeit sowie die Standortgebundenheit der Arbeitsplätze heraus.

Durch das Ergebnis der quantitativen Gegenüberstellung des konkreten Stundenaufwands anhand eines beispielhaften Deckenabschnitts in Kapitel 4 wurde die Kritik am häufig automatisch hergestellten positiven Zusammenhang zwischen der Vorfertigung und der Arbeitsproduktivität bestätigt. Die Berechnung ergab keinen eindeutigen Zeitvorteil durch den Einsatz von Vorfertigung. Je nach Wahl der entsprechenden Aufwandswerte aus der Literatur fiel die Dauer des Gesamtprozesses im Rahmen der Vorfertigung und Montage entweder kürzer oder sogar länger als die Ortbetonproduktion auf der Baustelle aus.

Es zeigt sich, dass die generelle Vorstellung der Vorfertigung als Produktivitätstreiber differenziert zu betrachten ist. Die Möglichkeiten zum Einsatz von Vorfertigung in einem Bauprojekt sind so komplex, wie die Einflussfaktoren auf die Produktivität. Nichtsdestotrotz birgt die Verlagerung von Fertigungsprozessen von der Baustelle in eine stationäre Produktion großes Potential.

## 6 Literatur

- [1] *Bertram, N.; Fuchs, S.; Mischke, J. et al.*: Modular construction – From projects to products. Capital Projects & Infrastructure Ausgabe Juni 2019.
- [2] *Grabner, C.; Glöckner, R.; Barck, N. et al.*: Produktivitätsanalyse 4.0. In: *Matt, D.* (Hrsg.): KMU 4.0 - digitale Transformation in kleinen und mittelständischen Unternehmen, Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation. GITO, Berlin, 2018, S. 113-132.
- [3] *Naoum, S.G.*: Factors influencing labor productivity on construction sites. In: *International Journal of Productivity and Performance Management* 65 (2016), Heft 3, S. 401-421.  
<https://doi.org/10.1108/IJPPM-03-2015-0045>.

- [4] *Eastman, C.M.; Sacks, R.*: Relative Productivity in the AEC Industries in the United States for On-Site and Off-Site Activities. *In: Journal of Construction Engineering and Management* 134 (2008), Heft 7, S. 517-526. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:7\(517\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:7(517)).
- [5] *Barbosa, F.; Woetzel, J.; Mischke, J. et al.*: Reinventing Construction – A Route to higher Productivity Ausgabe Februar 2017.
- [6] *Behrens, S.; Fricke, A.; Kumlehn, F. et al.*: Produktivität im Bauhauptgewerbe – Potenziale für die Praxis Ausgabe 2022.
- [7] *Reineke, B.; Schäfer, A.; Schott, V. et al.*: Ausbaufähig – Wie die Baubranche ihre Potenziale entfalten kann Ausgabe April 2023.
- [8] *Glöckner, R.; Benter, M.; Grabner, C. et al.*: Modellierung der Arbeitsproduktivität. Working Paper. IPMT der TU Hamburg, Hamburg Ausgabe 2017.
- [9] *Bärthel, J.*: Industrielles Bauen – Leitfaden für KMU-Geschäftsführer. ETH Zürich. Vdf, Hochschulverlag AG an der ETH, Zürich, 2002.
- [10] *Girmscheid, G.*: Context of Industrialisation - Introduction. *In: Girmscheid, G.; Scheublin, F. (Hrsg.): New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report.* Institut für Bauplanung und Baubetrieb. Eigenverlag des IBB der ETH Zürich, Zürich (Schweiz), 2010, S. 3-13.
- [11] *Institut für Zeitwirtschaft und Betriebsberatung Bau (Hrsg.):* Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau – Bewehrungsarbeiten, Beton- und Stahlbetonarbeiten Heft 2, ztv Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg, 2001.
- [12] *Institut für Zeitwirtschaft und Betriebsberatung Bau (Hrsg.):* Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau – Betonarbeiten, Beton- und Stahlbetonarbeiten Heft 3, ztv Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg, 2001.
- [13] *Institut für Zeitwirtschaft und Betriebsberatung Bau (Hrsg.):* Arbeitszeit-Richtwerte Tabelle Hochbau – Betonarbeiten, Beton- und Stahlbetonarbeiten Heft 3, ztv Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg, 2001.
- [14] *Institut für Zeitwirtschaft und Betriebsberatung Bau (Hrsg.):* Handbuch Arbeitsorganisation Bau – Rahmenschalung Wände/Stützen, Schalarbeiten, ztv Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg, 2013.
- [15] *Institut für Zeitwirtschaft und Betriebsberatung Bau (Hrsg.):* Handbuch Arbeitsorganisation Bau – Systemschalung Decken, Schalarbeiten, ztv Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg, 2015.



# Ausgewählte Nachhaltigkeitsaspekte und Effizienzpotenziale von Deckenkonstruktionen

## Selected sustainability aspects and efficiency potentials of ceiling constructions

Till Schöttler, Bergische Universität Wuppertal, Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal, schoettler@uni-wuppertal.de  
Prof. Manfred Helmus, Bergische Universität Wuppertal, Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal, helmus@uni-wuppertal.de  
Jun.-Prof. Jutta Albus, Technische Universität Dortmund, August-Schmidt-Straße 8, 44227 Dortmund, jutta.albus@tu-dortmund.de

### Kurzfassung

Der Klimawandel und der Umgang mit dessen Folgen zählen zu einer der zentralen Herausforderungen der Menschheit im 21. Jh. [1] Allein in Deutschland sind 41 Prozent der Treibhausgasemissionen auf den Bau und Betrieb von Gebäuden zurückzuführen [Stand: Juli 2021]. [2] Bei Stahlbetonbauten beträgt der Anteil von Deckenelementen ca. 45 – 55 Prozent der Gesamtbetonmasse. [3] Um den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern, bietet sich hier die Abwägung alternativer Konstruktionsmethoden an. Ziel ist es daher, verschiedene Deckensysteme hinsichtlich nachhaltiger Konstruktionsaspekte zu vergleichen und ausgewählte Umweltindikatoren zu betrachten. Im Fokus der Untersuchung steht das ganzheitliche Aufzeigen wesentlicher Parameter. Zu den verglichenen Deckensystemen gehören: Die Stahlbetondecke, Stahlbeton-Hohldielendecke, Holzbalkendecke, Brettstapeldecke, Holz-Beton-Verbunddecke und Ziegel-Einhängendecke. Ausgewählte Umweltindikatoren wie das Globale Erwärmungspotenzial-Total (GWPT), Nicht Erneuerbare Primärenergie-Total (PENRT), Erneuerbare Primärenergie-Total (PERT) etc. werden mittels ökologischer Betrachtung analysiert. Ergänzend werden u. a. Herstellungsprozesse und Recyclingpotenziale verschiedener Materialien identifiziert, relevante Kostenkennwerte gegenübergestellt, innovative Ansätze des ressourcenschonenden Bauens eingeordnet.

### Abstract

Climate change and dealing with its consequences are one of the central challenges of humanity in the 21st century. [1] In Germany alone, 41 percent of greenhouse gas emissions are attributed to the construction and operation of buildings (as of July 2021). [2] In the case of reinforced concrete structures, the proportion of ceiling elements accounts for approximately 45 – 55 percent of the total concrete mass. [3] To reduce greenhouse gas emissions, the evaluation of alternative construction methods is a viable option. The goal is to compare different ceiling systems in terms of sustainable design aspects and consider selected environmental indicators. The focus of the investigation lies in comprehensively demonstrating essential parameters. The compared ceiling systems include reinforced concrete ceiling, reinforced concrete hollow core slab, timber beam ceiling, cross-laminated timber ceiling, wood-concrete composite ceiling, and brick-inlay ceiling. Selected environmental indicators such as Global Warming Potential-Total (GWPT), Primary Energy Non-Renewable-Total (PENRT), Primary Energy Renewable-Total (PERT), etc., are analyzed through an ecological perspective. Additionally, manufacturing processes and recycling potentials of various materials are identified, relevant cost values are compared, and innovative approaches to resource-efficient construction are assessed.

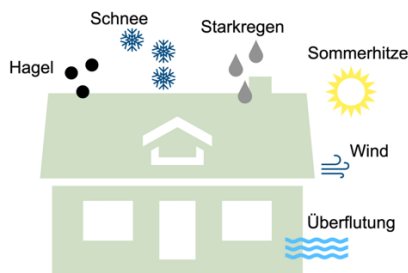
### 1 Einleitung

Nur wenige Aktivitäten des Menschen sind derartig klimaschädlich wie die Errichtung und Nutzung von Gebäuden. Nach einem aktuellen Bericht des European Academies Science Advisory Council (EASAC) – ein Zusammenschluss der Nationalen Akademien der Wissenschaften der EU-Mitgliedsstaaten, Norwegens und der Schweiz – sind 25 Prozent der Treibhausgasemissionen Europas auf den Energieverbrauch von Gebäuden zurückzuführen. Angaben der Vereinten Nationen zufolge sind im Jahr 2020 weltweit rund 40 Prozent der energiebezogenen

CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie mehr als die Hälfte des Ressourcenverbrauchs durch die Baubranche entstanden. In Deutschland verursacht der Bau und Betrieb von Gebäuden, gemäß einer Studie des Forschungsunternehmens Prognos AG, rund 41 Prozent der deutschen Treibhausgasemissionen (Stand: Juli 2021). [2]

Die Industrialisierung machte mittels neuer Produktionstechniken die Entwicklung neuer Baustoffe sowie die Mengenskalierung bei der Baustoffherstellung möglich. [3] Die Verarbeitung und Herstellung großer

Baustoffmengen hat unter anderem Auswirkungen auf die Umwelt des Menschen. Somit zählen der Klimawandel und der Umgang mit dessen Folgen zu einer der zentralen Herausforderungen der Menschheit im 21. Jh. Der Bausektor ist für einen großen Anteil am Ausstoß von klimaschädlichen Treibhausgasen verantwortlich. Demzufolge hat dieser einen wesentlichen Einfluss auf den Klimawandel. Hierzu tragen sowohl die Herstellung von Baustoffen als auch die Bereitstellung von Heiz- und Kühlenergie bei. [1] Auch die Gebäude selbst sind dem Klimawandel ausgesetzt. In der nachstehenden Abbildung werden einige Einwirkungen auf ein Gebäude gezeigt, deren Häufigkeit und Stärke unter anderem vom Klimawandel abhängen.



**Bild 1** Folgen des Klimawandels, Einwirkungen auf Gebäude, Eigene Darstellung in Anlehnung an [1]

Der Neu-, Aus- und Umbau von Siedlungen, Gewerbe-, Verkehrs- und Infrastrukturf lächen ist mit dem Abbau von Rohstoffen verbunden. In Deutschland sind mehr als 70 Prozent der abgebauten Rohstoffe auf die Bauindustrie zurückzuführen; bei Kies, Sanden und gebrochenen Natursteinen beträgt der Anteil 95 Prozent. Die genannten Materialien werden primär als Zuschläge für Beton, Mörtel, Asphalt, Kalksandstein oder als Tragschicht, Frostschutzmittel sowie als Splitte oder Schotter genutzt. Demzufolge steht die Produktionsmenge im direkten Verhältnis zum Bauvolumen. Bei weiteren Baumineralien geht es um Quarzsande und -kiese, Kalk- und Mergelgesteine, Gips- und Anhydritsteine, Tone, Lehme und Naturwerksteine. In Deutschland sind im Jahr 2016 mehr als 522 Mio. Tonnen Baumineralien abgebaut worden. Den größten Anteil mit mehr als 247 Mio. Tonnen sind abgebaute Bausande und Baukiese usw. Die größten Mengen von Baumineralien sind in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Bayern mit jeweils mehr als 100 Mio. Tonnen abgebaut worden. [4] Auf der anderen Seite entstehen mineralische Bauabfälle in Form von Bauschutt, Straßenaufbruch, Boden und Steine sowie weitere Baustellenabfälle. Die Erfassung von Bauabfällen auf Gipsbasis erfolgt separat. Im Jahr 2020 sind mineralische Bauabfälle einschließlich des Bodenmaterials in Höhe von 220,6 Mio. Tonnen angefallen. Dies macht die mengenmäßig größte Abfallgruppe aus. [5]

Geschossdecken bilden oftmals einen hohen Anteil der Gebäudekonstruktion und an daraus resultierenden Umweltwirkungen ab. Der Anteil der Deckenelemente beträgt bei Stahlbetonbauten ca. 45 – 55 Prozent der Gesamtbetonmasse. Insbesondere die Verwendung von Stahlbeton führt zu hohen CO<sub>2</sub>-Belastungen im Bausektor.

[3] Deckenkonstruktionen können aus einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien hergestellt werden, die alle unterschiedliche Herstellungsverfahren bedingen. Die daraus resultierenden Umweltwirkungen sind ebenso verschieden. Darüber hinaus unterscheiden sich Deckensysteme hinsichtlich bautechnischer Aspekte wie Schallschutz, Wärmeschutz, Brandschutz und Statik. In dieser Untersuchung sind insbesondere die Stahlbetondecke, die Stahlbeton-Hohdielendecke, die Holzbalkendecke, die Brettstapeldecke, die Holz-Beton-Verbunddecke und die Ziegel-Einhängendecke gegenübergestellt worden. Dies sind unterschiedliche Konstruktionsmethoden gängiger Deckensysteme, die aufgrund ähnlicher bautechnischer Eigenschaften (Bauphysik etc.) gewählt wurden. Alle sind individuell und mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen verbunden. Die Eignung eines Deckensystems ist neben den oben genannten Faktoren u.a. von der vorgesehenen Nutzungs- bzw. Gebäudeart abhängig, woraus z. B. Anforderungen an die Spannweiten resultieren können.

## 2 Materialität und Potenziale

Die Materialien der untersuchten Deckensysteme unterscheiden sich hinsichtlich der Herstellungsprozesse, des natürlichen Vorkommens sowie weiterer Aspekte erheblich. Holz ist ein natürlicher Rohstoff, welcher im Bauwesen ökologische Vorteile gegenüber anderen Baustoffen vorweist. Die Herstellung technischer Rohstoffe erfolgt im Gegensatz zu Holz meist mittels fossiler Energieträger. Die Produktion von Holz erfolgt hingegen lediglich mit Sonnenenergie. Weiterhin entzieht es in der Wachstumsphase der Atmosphäre das schädliche Treibhausgas CO<sub>2</sub>. Dieses bleibt wiederum in Form von Kohlenstoff in Holzprodukten über die gesamte Nutzungsdauer gebunden. Am Ende des gesamten Lebenszyklus wird die gespeicherte Menge abgegeben und von nachwachsenden Bäumen gespeichert. Somit ist es ein geschlossener, neutraler CO<sub>2</sub>-Kreislauf. Aus den Ergebnissen der Ökobilanzierung geht hervor, dass für die Herstellung, Nutzung, Instandhaltung und Entsorgung von Holzprodukten weniger Energie benötigt wird, als aus dem Produkt und den Reststoffen der Herstellung erzeugt wird. In der heutigen Zeit wird der Baustoff Holz durch Architekten und Bauherren aufgrund seiner Nachhaltigkeitspotenziale insbesondere für die Tragkonstruktion häufiger gewählt. [6] Die Entwicklung wird unter anderem an der Anzahl genehmigter Wohngebäude deutlich (siehe Tabelle 1). Der Anteil von Konstruktionen, welche überwiegend aus Holz bestehen und über die Holznutzung in Dachstühlen hinausgehen, beträgt im Bundesdurchschnitt 21,3 Prozent. Die Bundesländer mit dem höchsten Waldanteil an der jeweiligen Landesfläche Rheinland-Pfalz und Hessen haben einen Durchschnitt von über 20 Prozent. Baden-Württemberg ist mit einem Durchschnitt von über 34 Prozent das Bundesland mit den prozentual meisten Genehmigungen im Wohnungsbau mit überwiegend verwendetem Baustoff Holz. Hamburg weist im bundesweiten Vergleich mit weniger als 7 Prozent den prozentual geringsten Wert auf. [7]

**Tabelle 1** Quoten genehmigter Wohngebäude in Holzbauweise, Eigene Darstellung in Anlehnung an [7]

Jahr	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Holzbau</b>	21.018	20.958	22.341	25.408	27.554
<b>Gesamt</b>	119.060	117.897	119.472	124.548	129.363
<b>Quote [%]</b>	17,60	17,80	18,70	20,40	21,30

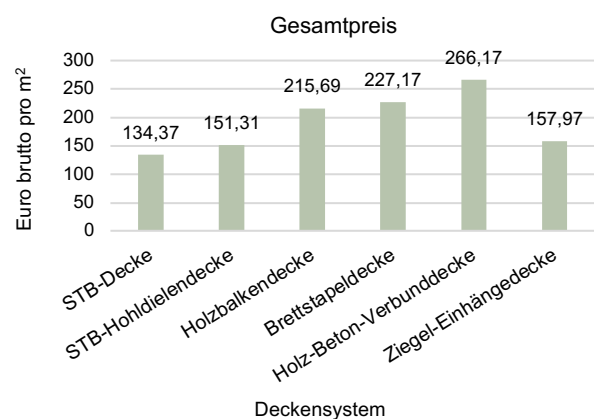
Weitere Vorteile des Baustoffs sind eine geringe Verarbeitungsdauer und ein hoher Vorfertigungsgrad. Neben den ökologischen Aspekten ist Holz ein Naturprodukt, das dem Menschen das Gefühl vermittelt, der Natur nahe zu sein. Dadurch wird die Behaglichkeit und somit das Wohlbefinden des Menschen im Raum erhöht. [8]

Stahlbeton besteht aus den Komponenten Stahl und Beton und hat, trotz der natürlichen Ausgangsstoffe, im Vergleich zum Baustoff Holz deutlich höhere Umweltwirkungen. Beton entsteht aus der Mischung von Zement, Wasser, Sand und Kies. Die mit Abstand größten Umweltwirkungen resultieren aus der Herstellung der Komponente Zement. Mehr als 98 Prozent der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Betons sind auf die Zementindustrie zurückzuführen. Insgesamt verursacht die Zementherstellung zwei Prozent der deutschen Treibhausgasemissionen und acht Prozent der globalen Treibhausgasemissionen. Diese ergeben sich insbesondere aus dem Brennvorgang, bei welchem das Ausgangsmaterial Kalkstein zu (Zement-)Klinker gebrannt wird. [9] Die Art der verwendeten Brennstoffe hat lediglich einen geringen Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz. Vielmehr muss der im Kalkstein gebundene Kohlenstoff, welcher als CO<sub>2</sub> freigesetzt wird, reduziert werden. Aktuelle Forschungsprojekte zeigen, dass die Herstellung von Zement in Bezug auf Nachhaltigkeitsaspekte optimiert werden kann. Altbeton kann als Recyclingprodukt weiterverwendet werden. Jedoch verbessert der Recyclingprozess die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Betons nicht wesentlich. [10] Der Bewehrungsstahl hingegen wird bereits in Europa meist recycelt. [11] Auch wenn die Menge der zur Herstellung benötigten Ressourcen reduziert wird, handelt es sich bei den Ausgangsstoffen um nicht nachwachsende Rohstoffe. Demzufolge ist das Vorkommen der Ressourcen, abgesehen von der klimaschädlichen Verarbeitung, im direkten Vergleich zum Baustoff Holz endlich. [8] Stahlbeton-Hohldeckelungen unterscheiden sich zu klassischen Stahlbetondecken darin, dass der Beton ausschließlich in den Bereichen eingesetzt wird, in denen er statisch erforderlich ist. Durch die Hohlräume werden sowohl das Gesamtgewicht des Gebäudes reduziert, als auch bis zu 50 Prozent weniger Beton benötigt. Der Anteil der benötigten Bewehrung kann um bis zu 70 Prozent reduziert werden. Diese Materialeinsparungen führen zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen und der erforderlichen Energie. Durch den Einsatz von Stahlbetonhohldeckelungen werden im Vergleich zu klassischen Stahlbetondecken im Durchschnitt rund 20 Prozent weniger CO<sub>2</sub> ausgestoßen und rund 20 Prozent weniger Energie benötigt. [12]

Das jahrhundertealte Herstellungsverfahren von Ziegeln ist ebenfalls mit einem hohen Energieaufwand verbunden. Die Ziegel werden aus Ton geformt, die Rohlinge getrocknet und danach bei hohen Temperaturen im Ofen gebrannt. Neue Verfahren sollen die thermische Effizienz um rund zehn Prozent steigern und den Gasverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß entsprechend reduzieren. Die Herkunft und der damit verbundene Transportaufwand haben neben weiteren Faktoren einen wesentlichen Einfluss auf die Ökobilanz von Baustoffen. Tonbaustoffe haben im Vergleich zu anderen Baustoffen oftmals geringere Transportwege. Aufgrund ihrer baubiologischen Eigenschaften schaffen Tonbaustoffe zudem ein hervorragendes Raumklima. Temperaturspitzen werden durch die Pufferung von Wärme ausgeglichen. Der Baustoff nimmt aufgrund der hohen Masse und hohen Tragfähigkeit bei Temperaturänderungen Wärme auf und gibt diese erst stark verzögert wieder ab. Decken und Wände aus Ton sind diffusionsoffen. Ziegel haben im Vergleich zu anderen Baustoffen eine hohe Langlebigkeit, Robustheit und einen geringen Wartungs- und Instandhaltungsaufwand. [13] Ziegelbruch kann ebenso als Recyclingprodukt als Füll- oder Schüttmaterial im Weg- und Tiefbau, als Zuschlagstoff bei Ziegelsplittbeton, beim Bau von Lärmschutzwällen und als Tenismehl verwendet werden. Ziegel eignen sich grundsätzlich für die Deponierung, da sie chemisch neutral und inert sind. Zusätzlich sind sie als Abfallprodukt für die Verfüllung von Gruben oder Steinbrüchen zugelassen. [14]

### 3 Kostenkennwerte

Die mit der Herstellung verbundenen Kosten sind oftmals neben Nachhaltigkeitsaspekten sowie technischen Anforderungen für die Wahl des Deckensystems entscheidend. Stahlbetonkonstruktionen haben für Spannweiten von ca. 4,4 m vergleichsweise die geringsten Herstellungskosten. Darauf folgt die Ziegel-Einhängendecke, die im Vergleich aller sechs Deckensysteme im mittleren Bereich hinsichtlich der Herstellungskosten liegt. Aufgrund der im Verhältnis hohen Holzpreise sind die Deckenkonstruktionen aus dem Baustoff Holz mit den höchsten Herstellungskosten verbunden. Die Gesamtpreise der verschiedenen Deckensysteme werden pro Quadratmeter in nachstehender Abbildung dargestellt.

**Bild 2** Gesamtpreise Deckensysteme

Zur Vergleichbarkeit basieren die Kostenkennwerte aller Deckenkonstruktionen auf derselben Oberflächenqualität (Qualitätsstufe Q2) in Bezug auf die Deckenunterseite. Die Kostenkennwerte der einzelnen Konstruktionen sind über „Baupreise.de“ ermittelt worden, wobei die Daten auf der Online-Datenbank von SIRADOS basieren. Eine Plausibilisierung der ermittelten, aufgezeigten Kostenkennwerte ist zusätzlich mit den Kennwerten des Baukosteninformationszentrums (BKI) der Ausgabe Baukosten Bauelemente (Stand: 2022) erfolgt. Im Allgemeinen sind Baupreise sehr volatil und von einigen Einflüssen abhängig. Dennoch sind deutliche Unterschiede, abhängig vom gewählten Material, erkennbar.

## 4 Methodik und Auswertung

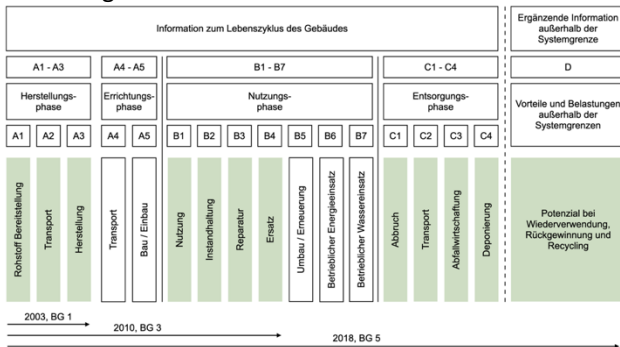
Mittels ökologischer Betrachtung werden folgende Indikatoren untersucht, die zur Beurteilung verschiedener Umweltwirkungen dienen. Das Treibhauspotenzial spiegelt die aus den anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen verbundenen Auswirkungen auf die Erdatmosphäre wider. Nach Angaben des deutschen Umweltbundesamtes steigt die globale Jahresmitteltemperatur seit Beginn des 20. Jahrhunderts um ca. 0,74 °C und seit 1950 um 0,13 Grad Celsius je Jahrzehnt an. Der größte Teil der Klimaerwärmung entsteht durch menschliche Aktivitäten und die damit verbundene Freisetzung von Treibhausgasen. [3] Mit der Bilanzierung ist auch das Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht betrachtet worden. Der Abbau der Ozonschicht resultiert aus anthropogenen Emissionen. Zu möglichen Auswirkungen zählen u.a. die Minderung der Ernteerträge (Störung der Photosynthese), Tumorindikationen (Hautkrebs und Augenerkrankungen), die Abnahme des Meeresplanktons etc. Das Versauerungspotenzial von Boden und Wasser ist ein weiterer Indikator. Die Verringerung des pH-Wertes von Regenwasser und Nebel führt unter anderem zu Schäden an Ökosystemen wie das Waldsterben. Metalle und Natursteine sind durch diesen Effekt zudem einer verstärkten Korrosion oder Zersetzung ausgesetzt. Jedoch handelt es sich bei diesem Indikator nicht um ein globales Problem. Unterschiedliche Pufferkapazitäten der Böden sind in einer Auswertung zu berücksichtigen. [15] Bei der Betrachtung des Primärenergiegehalts, welcher den benötigten Gesamtbedarf an energetischen Ressourcen zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung charakterisiert, ist zwischen erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergieinhalt zu unterscheiden. Der erneuerbare Primärenergieinhalt umfasst Wind- und Wasserkraft, Geothermie, Solarenergie sowie die in der Biomasse verfügbare Energie. [16] Der nicht erneuerbare Primärenergieinhalt beinhaltet hingegen den Einsatz der endlichen abiotischen energetischen Ressourcen Erdgas, Erdöl, Braunkohle, Steinkohle und Uran. [15] Das Eutrophierungspotenzial ist ein weiterer Indikator, welcher Bestandteil der ökologischen Betrachtung ist. Dieses beschreibt die Übersättigung eines Ökosystems mit essentiellen nicht organischen Nährstoffen wie Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die unter natürlichen Umständen lediglich in geringen

Konzentrationen auftreten. Die Folgen resultieren aus Luftschadstoffen, Abwässern sowie der Dünnung in der Landwirtschaft. Als Folge kann vermehrtes Algenwachstum auftreten. Außerdem haben eutrophierte Böden eine verstärkte Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen und eine Schwächung des Festigkeitssgewebes. Jedoch ist ähnlich zum Versauerungspotenzial zu beachten, dass die Effekte regional sehr unterschiedlich ausfallen. [16] Durch die Bildung von Photooxidanzien in der unteren Troposphäre entsteht Ozon insbesondere in Städten sowie ihrer näheren Umgebung. Jedoch ist bodennahes Ozon im Gegensatz zu seiner Schutzfunktion in der Stratosphäre ein schädliches Spurengas und in höheren Konzentrationen humantoxisch. Das Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon ist ein weiterer Indikator der Untersuchung. [15]

Zur Beurteilung der Entsorgungseigenschaften von Bau- und Werkstoffen auf Gebäudeebene wird der Entsorgungsindikator je Deckensystem ermittelt. Der Wert beinhaltet den aktuellen Entsorgungsweg einer Bauteilkomponente bzw. das Verwertungspotenzial. [17] Ergänzend zum Entsorgungsindikator werden die sechs Deckensysteme anhand der Kriterien „Rückbau, Trennung, und Verwertung“ nach dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Kriterien-Steckbrief 4.1.4, untersucht. Diese Untersuchung bezieht sich auch auf die Zeit nach der Nutzungsphase. Das Kriterium wird der Hauptkriteriengruppe „Technische Qualität“ und der Kriteriengruppe „Technische Ausführung“ zugeordnet. Das KrWG fordert die Schonung der natürlichen Ressourcen, Vermeidung von Abfällen, ordnungsgemäße und schadlose Verwertung unvermeidbarer Abfälle, sowie die gemeinwohlverträgliche Beseitigung nicht verwertbarer Abfälle bezogen auf den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Damit soll die Einsparung von Deponieraum, Rohstoffen und Produktionsenergie erreicht werden. Die Untersuchung der Rückbau- und Recyclingfähigkeit des Gebäudes erfolgt Anhand der vom BBSR zur Verfügung gestellten Excel-basierten Arbeitshilfe. Mit der Ermittlung des Recyclingfaktors, welcher sich aus den Bewertungspunkten für Rückbau, Sortenreinheit und Verwertung im Verhältnis 3 : 3 : 4 zusammensetzt, werden die sechs Deckensysteme bewertet und gegenübergestellt. Eine einfache Rückbaubarkeit und eine hohe Sortenreinheit führen somit theoretisch zur Aufwertung der Ergebnisse. Die einzelnen Bauteilschichten der sechs verschiedenen Schichten sind bewertet und anschließend durch Frau Hon. Prof. Dr.-Ing. Prof. Rosen plausibilisiert worden. [18] Abweichend zu den Vorgaben des BNB-Steckbriefs 4.1.4 ist die Bewertung unter Beachtung der Wiederverwendbarkeit und des notwendigen Energiebedarfs erfolgt. Die ökologische Untersuchung in Bezug auf die zuvor genannten Indikatoren, bis auf den Recyclingfaktor R, erfolgt anhand des Berechnungstools eco2soft.

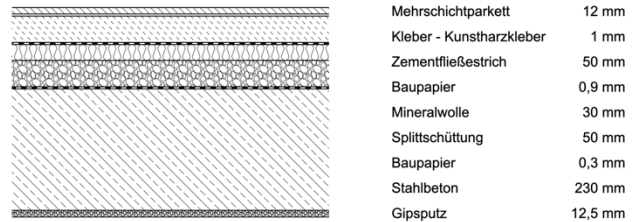
Die Betrachtung erfolgt sowohl auf Gebäude- als auch Bauteilebene. Der erste Teil der Betrachtung basiert auf der Bilanzgrenze BG3. Die Bilanzgrenze umfasst die Herstellung, den Austausch sowie die Instandsetzung im

definierten Betrachtungszeitraum von 80 Jahren. Die Bilanzierung auf Gebäudeebene basiert auf einem Referenzgebäude, das mit rund 158 Quadratmetern BGF einem klassischen Einfamilienhaus oder einer kleineren Gewerbeinheit entspricht. Im zweiten Teil der Bilanzierung erfolgt eine Plausibilisierung der Werte mit einem weiteren Berechnungstool zur Ökobilanzierung (eLCA). Damit eine Vergleichbarkeit der Daten erfolgen kann, muss die Bilanzgrenze beider Berechnungstools dieselben Lebenszyklusphasen beinhalten. Zur Vergleichbarkeit ist die Bilanzgrenze BG1 nach eco2soft gewählt worden. Diese entspricht nach DIN EN 15978:2012-10 den Modulen A1-A3, an welchen sich eLCA orientiert. In Bezug auf die Lebenszyklusphase geht es hierbei um die Herstellungsphase. Die Module sowie die in diesem Zusammenhang stehenden Bilanzgrenzen gem. IBO sind in der nachstehenden Grafik abgebildet:

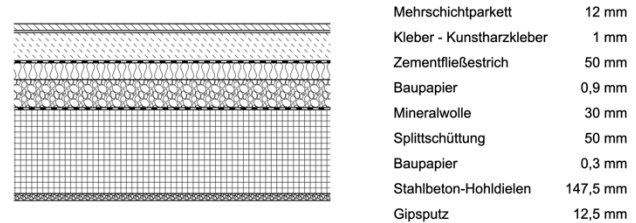


**Bild 3** Bilanzgrenzen, in Anlehnung an DIN EN 15804, eLCA und eco2soft [19]

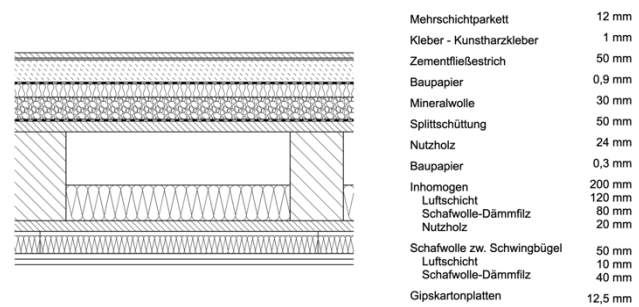
Die Plausibilisierung dient nicht dazu, übereinstimmende Werte zu erhalten. Vielmehr soll die Aussagekraft in Bezug auf die Rangfolge der ermittelten Werte der verschiedenen Deckensysteme gestärkt werden. Zur Vergleichbarkeit der Deckensysteme ist vorab eine Vordimensionierung für jedes System auf Grundlage der mit dem Referenzgebäude definierten Spannweite von rund 4,4 m erfolgt. Mit der Vordimensionierung sind die einwirkenden Lasten, welche sich in ständige sowie veränderliche Einwirkungen unterscheiden, und die entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt worden. Die Ergebnisse der einzelnen Vorbemessungen zeigen bereits, dass die Deckenaufbauten in Bezug auf die Schichtdicke voneinander abweichen. Dickere Schichten haben bei gleicher Geschosshöhe unter anderem zur Folge, dass mehr Material für die Außenwände bzw. die Fassadenkonstruktion benötigt wird. Daraus folgen wiederum bei gleichem Material ein höherer Ressourcenverbrauch, ein höherer Energieaufwand und größere Umweltwirkungen. Die Deckensysteme unterscheiden sich sowohl in der Herstellungsphase hinsichtlich der eingesetzten Materialien als auch in der Nutzungsphase. Die sechs verschiedenen Deckenaufbauten sind nachstehend dargestellt.



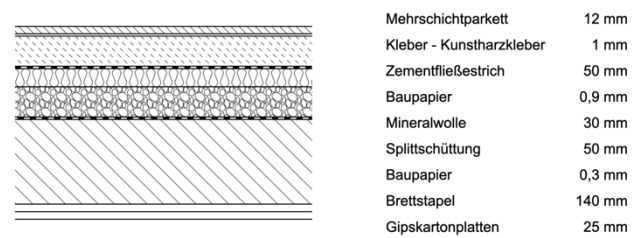
**Bild 4** Detail Deckenaufbau Stahlbetondecke (maßstabslos)



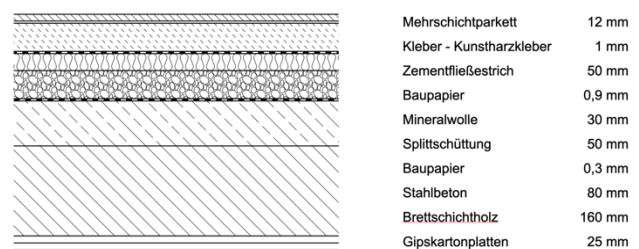
**Bild 5** Detail Deckenaufbau Stahlbeton-Hohldielecke (maßstabslos)



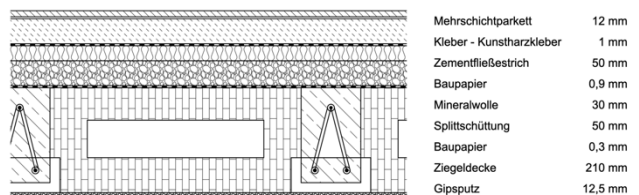
**Bild 6** Detail Deckenaufbau Holzbalkendecke (maßstabslos)



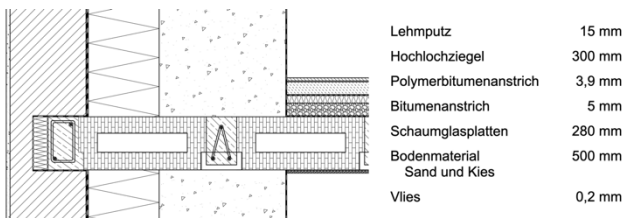
**Bild 7** Detail Deckenaufbau Brettstapeldecke (maßstabslos)



**Bild 8** Detail Deckenaufbau Holz-Beton-Verbunddecke (maßstabslos)



**Bild 9** Detail Deckenaufbau Ziegel-Einhängedecke (maßstabslos)



**Bild 10** Detail Auflager Ziegel-Einhängedecke (maßstablos)

In Bezug auf die Auswertung des Indikators GWPT wird deutlich, dass die Werte der Stahlbetondecke, Stahlbeton-Hohldieleendecke sowie der Ziegel-Einhängedecke wesentlich höher als die der Holzbalkendecke, Brettstapeldecke sowie Holz-Beton-Verbunddecke sind. Die Werte der Stahlbetondecke sind auf Gebäudeebene (Referenzgebäude) für einen Betrachtungszeitraum i. H. v. 80 Jahren um rund 55 Prozent höher als die der Brettstapeldecke. Diese werden in nachstehender Tabelle abgebildet.

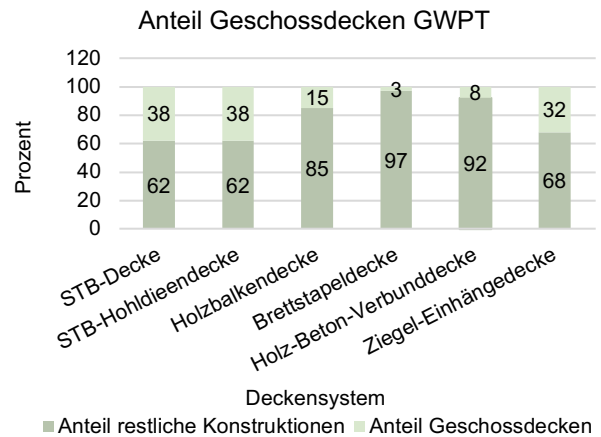
**Tabelle 2** Indikatoren GWPT, GWPB, GWPF, Software: eco2soft

Deckensystem	GWPT [kg CO <sub>2</sub> -Äq.]	GWPF [kg CO <sub>2</sub> -Äq.]	GWPB [kg CO <sub>2</sub> -Äq.]
STB-Decke	445,6	636,0	-190,4
STB-Hohldieleendecke	403,2	593,6	-190,4
Holzbalkendecke	326,4	586,4	-260,8
Brettstapeldecke	286,4	576,8	-290,4
Holz-Beton-Verbunddecke	300,8	617,6	-316,0
Ziegel-Einhängedecke	409,6	600	-190,4

BG3, Gebäudeebene, Betrachtungszeitraum: 80 Jahre

Die Abweichungen resultieren insbesondere aus den Differenzen des Indikators Globales Erwärmungspotenzialtotal-biogen (GWPB). Der spiegelt die während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommene und über die Lebensdauer des Materials gebundene Menge an CO<sub>2</sub> sowie biogene Emissionen in der Luft durch Oxidation oder Zerfall von Biomasse (z. B. Verbrennung) wider. Bei Holzkonstruktionen ist der Indikator GWPB hinsichtlich der Wachstumsphase deutlich geringer. Dies ist mit der Wachstumsphase von Bäumen verbunden, in der CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entzogen und bis zum Lebenszyklusende gespeichert wird. Die Werte des Globalen Erwärmungspotenzials-fossil (GWPF) sind analog zu den Werten des GWPB ebenfalls höher. Daraus ergibt sich ein hoher Unterschied der einzelnen Deckensysteme beim Indikator GWPT, der Summe aus GWPB und GWPF. Das Ergebnis wird unter anderem mit der Herstellung von Zement, der für Stahlbetondecken essenziell ist, begründet. Bei diesem Herstellungsprozess werden große Mengen von Treibhausgasemissionen ausgestoßen. Die vergleichsweise höheren Werte der Ziegel-Einhängedecke sind auf den Herstellungsprozess der Ziegel zurückzuführen. Der Brennvorgang ist auch mit einem höheren Anteil von Treibhausgasemissionen verbunden. Die Auswertung des Indikators PERT zeigt deutlich, dass die Werte der Holzkonstruktionen von denen der weiteren Deckensystemen deutlich abweichen. Insgesamt sind die Differenzen insbesondere auf

den Indikator PERM, der den Anteil der stofflich genutzten Ressourcen abbildet, zurückzuführen. Die höheren Werte der Holzkonstruktionen werden mit dem im Material enthaltenen Heizwert des nachwachsenden Rohstoffes begründet. Aufgrund der vergleichsweise hohen Werte der nicht erneuerbaren Primärenergie für den Kubikmeter trockenes Holz in der Ökobilanzdatenbank fällt der Unterschied zwischen den einzelnen Deckensystemen bei diesem Indikator geringer aus. [15] Die Auswertung des Indikators AP ergibt, dass die reinen Holzkonstruktionen geringere Werte als die klassische Stahlbetondecke und die Holz-Beton-Verbunddecke aufweisen. Aufgrund der vergleichsweise geringeren Materialmenge, die für die Stahlbeton-Hohldieleendecke benötigt wird, ist der Wert dieser Konstruktion geringer als der Wert der klassischen Stahlbetondecke. Dieser Effekt wird bei weiteren Indikatoren wie GWPT und PENRT bestätigt. Weitere detaillierte Werte werden im Rahmen dieser Veröffentlichung nicht abgebildet, da diese aufgrund verschiedener Hersteller, verwendeten Zusatzstoffen, etc. deutlich voneinander abweichen können. Jedoch unterstreicht die Gegenüberstellung der Werte beider Berechnungstools, dass die Werte der Holzkonstruktionen meist von den Werten der mineralischen Primärkonstruktionen abweichen. Auch wenn die Höhe der Ergebnisse beider Berechnungstools voneinander abweichen, ist die Rangfolge bei den Indikatoren GWPT und PERT dieselbe. Das Ergebnis stärkt die Aussagekraft vorangegangener Analysen. Die Differenz der Werte ist auf die verschiedenen Datenbanken, auf denen die Berechnungen beider Berechnungstools basieren, zurückzuführen. Der Anteil von Treibhausgasemissionen, der durch die Geschossdecken verursacht wird, ist im Verhältnis zu den gesamten Treibhausgasemissionen des Referenzgebäudes bei Holzkonstruktionen wesentlich geringer. Dieser beträgt weniger als 20 Prozent der Treibhausgasemissionen aller Konstruktionen. Bei Stahlbetondecken beträgt der Anteil im Vergleich rund 60 Prozent (siehe Bild 11). Somit wird deutlich, dass der Anteil an den Gesamtemissionen eines Gebäudes sehr stark vom gewählten Deckensystem abhängt. Für diese Analyse liegt das Berechnungstool eco2soft, BG3 und ein Betrachtungszeitraum i. H. v. 80 Jahren zugrunde.



**Bild 11** Anteil Geschossdecken an Gebäude-Gesamtbilanz, Indikator GWPT

Die Auswertung des Entsorgungsindikators zeigt, dass insbesondere die Deckensysteme aus mineralischen Baustoffen, wie die Stahlbetondecke und die Ziegel-Einhängedecke, einen vergleichsweise höheren Entsorgungsindikator haben. Nach Angaben der Datenbank, auf denen die Berechnung basiert, sind Stahlbeton-Hohldielen hinsichtlich des Verwertungspotenzials positiver als die Ortbetonkonstruktion bewertet. Der vergleichsweise hohe Wert der Holzbalkendecke ist mit der Vielzahl einzelner Komponenten sowie dem hohen Anteil des Schafwolle-Dämmfilzes begründet, der nach den Werten der Datenbank eine relativ schlechte Bewertung bezüglich der Entsorgungseinstufung sowie des Verwertungspotenzials erhält. Die Deckensysteme mit einem sehr hohen Anteil des Baustoffs Holz, also die Brettstapeldecke und die Holz-Beton-Verbunddecke, haben die geringsten bzw. in ökologischer Perspektive positivsten Werte.

Grundsätzlich sieht der BNB-Steckbrief 4.1.4 eine ganzheitliche Betrachtung des Gebäudes und somit die Berechnung des Recyclingfaktors R auf Gebäudeebene vor. Die Berechnung des Recyclingfaktors R erfolgt in dieser Untersuchung auf Bauteilebene. Die sechs Deckensysteme sind vorbewertet und durch Hon. Prof. Dr.-Ing. Anja Rosen plausibilisiert worden. Die Bewertung der Kriterien erfolgt abweichend zu den Vorgaben des BNB-Kriteriensteckbriefs 4.1.4 unter Beachtung der Wiederverwendbarkeit. Zudem wird der notwendige Energieaufwand insbesondere bei dem Kriterium „Rückbau“ in der nachstehenden Einstufung mitberücksichtigt.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Bewertung sowie der daraus resultierende Recyclingfaktor R je Deckensystem abgebildet.

**Tabelle 3** Bewertung Recyclingfaktor R nach BNB-Steckbrief 4.1.4 [20]

Deckensystem	Rückbau	Trennung	Verwertung	R-Faktor
Stahlbetondecke	-	o	o	4,25
Stahlbeton-Hohldielendecke	+	o	+	6,75
Holzbalkendecke	-	-	+	4,50
Brettstapeldecke	+	-	++	7,00
Holz-Beton-Verbunddecke	-	--	o	2,75
Ziegel-Einhängedecke	-	-	o	3,50
Bewertung der Eignung	++	Sehr günstig		
	+	Günstig		
	o	Durchschnittlich		
	-	Ungünstig		
	--	Sehr Ungünstig		

Die Auswertung des Recyclingfaktors R ergibt, dass die Brettstapeldecke gemäß dem Rückbau, der Trennung und der Verwertung insgesamt die ökologisch positivste Bewertung erhält. Darauf folgt mit einem geringen Abstand die Stahlbeton-Hohldielendecke. Die weiteren Deckensysteme folgen mit einem größeren Abstand.

Mit der Bewertung der Kriterien Rückbau, Trennung und Verwertung je Deckensystem ist deutlich geworden, dass die Einstufung stark von der zuvor definierten

Konstruktion abhängt. Bereits die Optimierung einzelner Komponenten würden die Ergebnisse und die Gesamtauswertung bedeutsam beeinflussen. Eine Abweichung der Rangfolge in Bezug auf die Auswertung des Entsorgungsindikators sowie des Recyclingfaktors ist im Wesentlichen auf zwei Aspekte zu erschließen. Der Entsorgungsindikator setzt sich aus der Bewertung jedes einzelnen Materials zusammen, ohne den Verbund angrenzender Schichten zu berücksichtigen. Beim Recyclingfaktor R ist hingegen das Bauteil „Decke“ als ganzheitliches zu bewertendes Element zu betrachten. Zudem werden gegenwärtig die beiden Kriterien Rückbau und Trennung separat bewertet, die das Ergebnis wesentlich beeinflussen. Jedoch basiert die Ermittlung des Entsorgungsindikators primär auf der Entsorgungseinstufung und dem Verwertungspotenzial. Somit weichen die Schwerpunkte der beiden Indikatoren voneinander ab, was wiederum zu unterschiedlichen Ergebnissen und einer abweichenden Rangfolge führt.

## 5 Wege zum nachhaltigeren Bauen

Die Lebensdauer von Bauwerken lässt sich anhand von planerischen Maßnahmen beeinflussen. Grundsätzlich ist eine längere Lebensdauer, sofern keine schädlichen Schadstoffe freigesetzt werden, ökologischer. Durch eine flexible Planung können Gebäude bei Nutzungsänderungen an neue Anforderungen angepasst werden. Bauteile, die verschiedene Lebensdauern ausweisen, sind konstruktiv voneinander zu trennen, sodass mit einem Austausch keine Beschädigung von Bauteilen mit längerer Lebensdauer einhergeht. Bauteile, die aufgrund ihrer Lebensdauer häufiger ausgetauscht werden müssen, sind möglichst recyclingfähig einzusetzen. Bei der Planung von Bauteilkonstruktionen ist darauf zu achten, dass der Abfallanteil und der Aufwand zum Austausch von Baustoffen minimiert werden. In diesem Zusammenhang ist die Planung homogener Bauteilaufbauten oder leicht trennbarer Kombinationen vorteilhaft und zu bevorzugen. Mit der Standardisierung von Elementen, Bauteilen und Baugruppen mit gleicher Funktion in Aufbau, Maßen und Werkstoffen können diese nach der Demontage einfacher sortiert und für eine Wiederverwendung verwendet werden. [21] Die Nutzung von Abwärme industrieller Unternehmen für Nichtwohngebäude sowie Wohngebäude würde positiv zum Klima- und Umweltschutz beitragen und zusätzlich die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens erhöhen. Die energetische Modernisierung des Gebäudestandards ist ein weiteres Ressourcenpotenzial. Durch die Sanierung der Gebäudehülle mittels ressourcenschonender Dämmstoffe kann der Energieverbrauch in der Nutzungsphase langfristig gesenkt werden. Zudem lassen sich bereits in der Phase der Dämmstoffherstellung der Energiebedarf sowie CO<sub>2</sub>-Emissionen nachhaltig reduzieren. [22] Im Durchschnitt sind mehr als 50 Prozent der Treibhausgasemissionen eines Gebäudes auf die Rohstoffgewinnung, Herstellung, Transport, Wartung, Abriss und Entsorgung zurückzuführen. Hierdurch wird die Relevanz der Gebäudekonstruktion, die neben der Energieeffizienz für einen hohen Anteil der Treibhausgasemissionen

verantwortlich ist, deutlich. Kreislaufgerechtes Bauen schöpft die Potenziale eingesetzter Ressourcen über die Nutzungsphase hinaus aus. Das Konzept sieht vor, dass Baumaßnahmen derartig entworfen, geplant und realisiert werden, dass möglichst alle Materialien am Lebenszyklusende hochwertig rezyklierbar oder wiederverwendbar sind. Mit Urban Mining werden die Abfallmenge und der Primärrohstoffbedarf reduziert und Sekundärrohstoffe aus langlebigen Gütern sowie Ablagerungen gewonnen. Urban Mining beschäftigt sich hauptsächlich mit dem Materialbestand und versucht, frühzeitig zukünftige Stoffströme zu prognostizieren. Hierzu ist wieder einmal die Betrachtung des gesamten Zyklus erforderlich. Anhand des digitalen Gebäuderessourcenpasses werden alle lebenszyklusrelevanten Gebäudeinformationen dokumentiert. [23] Die Modulbauweise ist in Bezug auf Ressourceneffizienz mit Vorteilen verbunden. Eine Umnutzung und Erweiterung von Modulbauten ist mit geringem Aufwand möglich. Daher haben sie grundsätzlich eine hohe Flexibilität. Außerdem sind ein unkomplizierter Abbau und eine Wiederverwertung an einem neuen Standort realisierbar. Es können die einzelnen Module ganzheitlich rückgebaut, sortenrein getrennt und die Materialien recycelt werden. [24]

Geschossdecken sind innenliegende Bauteile, die meist von beheizten Räumen umgeben sind. Grundsätzlich haben diese Bauteile einen vergleichsweise geringen Einfluss auf den Energiebedarf des Gebäudes. Der Einfluss auf den Energiebedarf ist von der Anzahl der Nutzungseinheiten, die ein unterschiedliches Heizverhalten aufweisen, abhängig. Eine große Speicherfähigkeit, wie die Ziegel-Einhängendecke, sind dennoch von Vorteil. Somit kann Wärme oder Kälte gespeichert und bei Bedarf wieder abgegeben werden. Dennoch haben Geschossdecken einen geringen Einfluss auf die Erreichung von KfW-Standards, Passivhaus-Standards, o. Ä.

## 6 Zusammenfassung

Die Auswertung des Indikators GWPT hat ergeben, dass die Emissionswerte der mineralischen Primärkonstruktionen wesentlich höher als die der Holzbalkendecke, Brettstapeldecke sowie Holz- Beton-Verbunddecke sind. Auf Gebäudeebene sind die Werte der Stahlbetondecke (Referenzgebäude) für einen Betrachtungszeitraum i. H. v. 80 Jahren um rund 55 Prozent höher als die der Brettstapeldecke. Die Abweichungen resultieren insbesondere aus den Differenzen des Indikators GWPB. Dieser spiegelt die während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommene und über die Lebensdauer des Materials gebundene Menge an CO<sub>2</sub> sowie biogene Emissionen in der Luft durch Oxidation oder Zerfall von Biomasse (z. B. Verbrennung) wider. [4] Dieser ist bei Holzkonstruktionen hinsichtlich der Wachstumsphase deutlich geringer. In dieser Phase wird CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entzogen und bis zum Lebenszyklusende gespeichert. Der größte Klimanutzen ist die Kaskadennutzung des Holzes, wobei die energetische Nutzung erst nach der stofflichen erfolgt. Hier handelt es sich um einen geschlossenen

neutralen CO<sub>2</sub>-Kreislauf. [5] Die hohen Werte der mineralischen Deckenkonstruktionen sind insbesondere auf die Herstellungsverfahren (Zementherstellung, Brennvorgang Ziegel etc.) zurückzuführen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass Nachhaltigkeitsaspekte und Effizienzpotenziale in Bezug auf Deckenkonstruktionen von einer Vielzahl von Faktoren abhängen. Ein Gebäude muss als ganzheitliches Element über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden. Abgesehen von den Umweltwirkungen, die auf einzelne Bauteile zurückzuführen sind, müssen die Auswirkungen auf die Dimensionierung weiterer Bauteile im Planungsprozess mitberücksichtigt werden. Dies hat Auswirkungen auf die ökologische Gesamtbilanz eines Gebäudes. Eine Bilanzierung ist auf Basis der für diese Untersuchung verwendeten Berechnungstools eco2soft und eLCA zielführend.

In dieser Untersuchung wurden einige Nachhaltigkeitsaspekte und Effizienzpotenziale in Bezug auf sechs unterschiedliche Deckensysteme dargestellt, sowie weitere in diesem Zusammenhang zu berücksichtigende Faktoren aufgezeigt. Hieraus resultieren unter anderem folgende offene Fragen und Forschungsbedarf für:

- **Nachhaltige Forstwirtschaft und ihre Grenzen** in Bezug auf die steigende Nachfrage des Rohstoffs Holz
- Die **Entwicklung und Implementierung innovativer und nachhaltiger Herstellungsprozesse** insbesondere in Hinsicht auf jahrhundertalte klimaschädliche Produktionsverfahren. Bei der Untersuchung sollte der Einfluss auf das Erreichen der Klimaschutzziele im Vordergrund stehen
- Die **Gegenüberstellung** von Nachhaltigkeitsaspekten und Effizienzpotenzialen **seriell sowie konventionell gefertigter Deckenkonstruktionen**
- Die **Wiederverwendbarkeit und Potenziale von Bestands-Deckensystemen**. Definition von Faktoren, die maßgeblich über die Wiederverwendbarkeit eines Bestand-Deckensystems entscheiden
- Die Untersuchung und Definition von Potenzialen in Bezug auf **Naturmaterialien, die vor Jahrhunderten zum Einsatz** kamen. Beurteilung, inwiefern der reaktivierte Einsatz unter Beachtung **neuer Material- und Herstellungskennnisse** zur Herstellung von Deckensystemen geeignet ist
- Die Untersuchung von **Nachhaltigkeitsaspekten und Effizienzpotenzialen mit Berücksichtigung der technischen Gebäudeausrüstung und der Materialentsorgung** und damit einhergehende Umweltwirkungen
- Die **Ökologische Betrachtung** von herkömmlichen Deckensystemen, die insbesondere **hinsichtlich der Lebenszyklusphasen Rückbau, Trennung, und Verwertung in ihrer Konstruktionsweise optimiert wurden**



## 7 Literatur

- [1] B. Weller, M.-S. Fahrion, S. Horn, T. Naumann und J. Nikolowski, Baukonstruktion im Klimawandel, Wiesbaden : Springer Vieweg, 2016.
- [2] O. Huber, „ARDalpha,“ 28 10 2021. [Online]. Available: <https://www.ardalpha.de/wissen/umwelt/klima/klimawandel/bauen-klima-oekologisch-emission-nachhaltig-100.html>. [Zugriff am 01 2023].
- [3] S. El khouli, M. Zeumer und V. John, Nachhaltig konstruieren, Freiburg: fgb freiburger graphische betriebe GmbH & Co. KG., 2014.
- [4] Umwelt Bundesamt, „Umwelt Bundesamt,“ 02 01 2023. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/umweltatlas/bauen-wohnen/wirkungen-bauen/rohstoffentnahme-bauen/welche-menge-an-rohstoffen-braucht-die-bauindustrie>. [Zugriff am 05 01 2023].
- [5] Umwelt Bundesamt, „Umwelt Bundesamt,“ 27 07 2023. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle#verwertung-von-bau-und-abbruchabfallen>. [Zugriff am 26 08 2023].
- [6] Forstwirtschaft in Deutschland, „Forstwirtschaft Deutschland,“ [Online]. Available: <https://www.forstwirtschaft-in-deutschland.de/forstwirtschaft/produkte-leistungen/holz/>. [Zugriff am 02 2023].
- [7] Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V., „Lagebericht 2022,“ 05 2022. [Online]. Available: [https://www.holzbau-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/eingebundene\\_Downloads/Lagebericht\\_2022.pdf](https://www.holzbau-deutschland.de/fileadmin/user_upload/eingebundene_Downloads/Lagebericht_2022.pdf). [Zugriff am 02 2023].
- [8] A. Kovacs, „Ramboll,“ 11 08 2021. [Online]. Available: <https://de.ramboll.com/media/rde/holzstatt-zement>. [Zugriff am 02 2023].
- [9] World Wide Fund For Nature, „Klimaschutz in der Beton- und Zementindustrie,“ Berlin, 2019.
- [10] K. Urban, „Schrot & Korn,“ 27 05 2021. [Online]. Available: <https://schrotundkorn.de/umwelt/warum-beton-die-klimakrise-zementiert>. [Zugriff am 02 2023].
- [11] Elbers, U., „nbau – Nachhaltig Bauen,“ 12 10 2022. [Online]. Available: <https://www.nbau.org/2022/10/12/ressourcenschonendes-bauen/>. [Zugriff am 02 2023].
- [12] Bauen aktuell, „Bauen aktuell,“ 29 07 2022. [Online]. Available: <https://www.bauen-aktuell.eu/deckensysteme-so-laesst-sich-der-oekologische-fussabdruck-von-gebaeuden-minimieren/>. [Zugriff am 02 2023].
- [13] Lebensraum Ziegel, „Mit Ziegeln das Klima schützen,“ [Online]. Available: [https://ziegel.de/sites/default/files/2020-04/LRZ\\_Broschuere\\_Klima-Schuetzen%5B9596%5D.pdf](https://ziegel.de/sites/default/files/2020-04/LRZ_Broschuere_Klima-Schuetzen%5B9596%5D.pdf). [Zugriff am 02 2023].
- [14] mein ziegelhaus, „Nachhaltiges Bauen mit Ziegeln,“ [Online]. Available: [https://www.luecking.de/wp-content/uploads/2020/07/mz-nachhaltigkeit\\_2015.pdf](https://www.luecking.de/wp-content/uploads/2020/07/mz-nachhaltigkeit_2015.pdf). [Zugriff am 02 2023].
- [15] H. König, N. Kohler, J. Kreißig und T. Lützkendorf, Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung, Bd. 1, Regensburg, Bayern: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, 2009.
- [16] baubook Rechner für Bauteile, „baubook Rechner für Bauteile,“ 07 01 2023. [Online]. Available: <https://www.baubook.at/BTR/?SW=5&LU=1823787131&qj=1&LP=xThlw>. [Zugriff am 01 2023].
- [17] IBO Ökologisch Bauen Gesund Wohnen, „IBO Ökologisch Bauen Gesund Wohnen,“ 13 01 2023. [Online]. Available: <https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/ei-entsorgungsindikator>. [Zugriff am 02 2023].
- [18] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, „BNB-Steckbrief 4.1.4.“
- [19] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, „Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 für Bauteile und Gebäude,“ IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien, 2018.
- [20] E. D. i. A. a. d. v. B. z. V. g. E.-b. Arbeitshilfe.
- [21] S. Friedrichsen, Nachhaltiges Planen, Bauen und Wohnen, Springer-Verlag GmbH.
- [22] Zentrum Ressourceneffizienz – Verein Deutscher Ingenieure e.V., „Zentrum Ressourceneffizienz – Verein Deutscher Ingenieure e.V.,“ [Online]. Available: <https://www.ressourcendeutschland.de/themen/bauwesen/ressourcenverbrauch-im-bauwesen/>. [Zugriff am 02 2023].
- [23] Zentrum Ressourceneffizienz – Verein Deutscher Ingenieure e.V., „Zentrum Ressourceneffizienz – Verein Deutscher Ingenieure e.V.,“ [Online]. Available: <https://www.ressourcendeutschland.de/themen/bauwesen/kreislaufgerichtetes-bauen/>. [Zugriff am 02 2023].
- [24] Baunetz\_Wissen, „Baunetz\_Wissen,“ [Online]. Available: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/konstruktionen-elemente/modulbauweise-8030140>. [Zugriff am 02 2023].

# DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

ub

universitäts  
bibliothek

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

**DOI:** 10.17185/duepublico/78941

**URN:** urn:nbn:de:hbz:465-20231017-164528-8

Tagungsbeiträge: © 2023 die Autorinnen und Autoren.

Es gelten die in den einzelnen Tagungsbeiträgen genannten Rechte/Lizenzen.