



31. BBB-Assistent:innentreffen Innsbruck 2022

Tagungsband



Nr.01

iBT

Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau
Fakultät für Technische Wissenschaften
Universität Innsbruck

Tagungsband
zum 31. BBB-Assistent:innentreffen
Innsbruck 2022

Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen

Bauwirtschaft | Baubetrieb | Baumanagement | Tunnelbau

Beiträge zum 31. BBB Assistent:innentreffen vom 12. bis 14. Juli 2022 in Innsbruck

Impressum

Herausgeber: Universität Innsbruck
Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau (iBT)
Fakultät für Technische Wissenschaften
Technikerstraße 13, A-6020 Innsbruck

Titelbild: Universität Innsbruck/Birgit Pichler
Layout und Satz: Studia Innsbruck
Juli 2022

ISBN: 978-3-99105-026-1
DOI: 10.25651/1.2022.0004

Für den Inhalt der Beiträge sind die Verfasser:innen verantwortlich.

© Studia Verlag 2022 • verlag@studia.at

Grußwort zum 31. BBB-Assistent:innentreffen in Innsbruck

Sehr geehrte Damen und Herren,

als Gastgeber und Veranstalter des 31. BBB-Assistent:innen-Treffens begrüße ich Sie ganz herzlich im Namen der Universität Innsbruck und besonders des Arbeitsbereichs Baubetrieb, Baumanagement und Tunnelbau.

Unsere Fachveranstaltung bietet Doktorand:innen und wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen aller Institute und Lehrstühle aus den Fachbereichen Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement der Universitäten im deutschsprachigen Raum einen Rahmen für fachlichen Austausch und Vernetzung. Aktuelle Forschungsthemen aus den Bereichen Bauwirtschaft, Baubetrieb, Baumanagement und Tunnelbau werden gemeinsam diskutiert und aus verschiedensten Blickwinkeln betrachtet.

Nach zwei Jahren pandemiebedingten, fehlenden Austauschmöglichkeiten freut es uns besonders, dass wir uns in Innsbruck, der Hauptstadt der Alpen zwischen Nordkette und Patscherkofel, in Präsenz treffen und uns wissenschaftlichen sowie gesellschaftspolitischen Diskursen hingeben können.

Bei dieser Gelegenheit freuen wir uns, Ihnen die vor knapp zwei Jahren begonnene Neuausrichtung unseres Arbeitsbereiches vorstellen zu dürfen. Unser Arbeitsbereich iBT steht für Innovationen im Bereich Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau. Die Forschungsgeleitete Lehre ist uns ein wichtiges Anliegen, analog den Bestrebungen des Erreichens europaweit einzigartiger Exzellenz in der Forschung. Building Information Modeling (BIM) und Tunnel Information Modeling (TIM) mit Fragen zum digitalen Zwilling und den resultierenden Prozessen sind Teil unserer Forschungsaktivitäten genauso wie der maschinelle Tunnelbau, die Nachhaltigkeit von Planung, Bau, Betrieb und Projektentwicklung sowie alternative Bauvertragsmodelle.

Ich wünsche Ihnen allen ein unvergessliches Assistent:innentreffen in Innsbruck mit fruchtbaren Diskussionen, neuen Freundschaften und weiterführenden Erkenntnissen. Alles Gute und ein herzliches Glück Auf!

Innsbruck, Juli 2022

Univ.-Prof. DI Dr. techn. Matthias Flora,
Arbeitsbereich für Baubetrieb, Baumanagement und Tunnelbau

Inhaltsverzeichnis

Was ist Target Value Design?	2
<i>Carolyn Baier¹, Maximilian Rolf-Dieter Budau², Ana Schilling Miguel³, Markus Greinwald⁴</i>	
Identifizierung von Anreizen in Verträgen nach der VOB/A-EU unter Einbezug von der VOB/B	16
<i>Simon Christian Becker¹</i>	
Integrierte Projektabwicklung – Identifikation von Herausforderungen bei der Konzeption eines phasen- und prinzipiengerechten Vergütungsmodells. 30	
<i>Philipp Beidersandwich,¹ Maximilian Rolf-Dieter Budau²</i>	
Bauprojektmanagement mit Hilfe digitaler Modelle: Baukostenplanung in frühen Projektphasen	50
<i>Sara Bender¹, Christian Stoy²</i>	
Systematik zur inhaltlichen Definition von BIM-Anwendungs-fällen für das Facility Management	64
<i>Maximilian Benn,¹ Christian Stoy²</i>	
Aktuelle Einschätzungen zur Holzhybridbauweise.....	76
<i>Dominik Ehmann¹, Gottfried Mauerhofer²</i>	
Attraktivitätssteigerung der Bauleitung durch die Arbeitsmethode ‚New Work‘	92
<i>Robin Becker¹, Maike Eilers², Nane Roetmann³, Vanessa Jobst-Jürgens⁴, Prof. Manfred Helmus⁵</i>	
Tunnelpixel als Konzept für eine modellbasierte geotechnische Planung von Untertagebauten	110
<i>Hans Exenberger¹</i>	
Akzeptanzmodelle zur Berücksichtigung des Faktors Mensch bei der Implementierung von BIM	118
<i>Julian Halter¹</i>	
BIM als lebenszyklusübergreifender Lösungsansatz im Krankenhausbau... 134	
<i>Sabine Hartmann¹</i>	

Ein ganzheitlicher Systemansatz zur(teil-)automatisierten Generierung von digitalen Bestandsmodellen der Verkehrsinfrastruktur.....	148
<i>Jan-Iwo Jäkel¹</i>	
Anforderungen an einen Entkernungs- und Abbruchkostenindex.....	164
<i>Dipl.-Ing. Holger Kesting¹, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus²</i>	
Recycling von Carbonabbruchmaterial.....	180
<i>Florian Kopf¹, Jan Kortmann²</i>	
Mehr als ein 3D-Bild – Tunnel Information Modeling (TIM) Die Informationen hinter dem Bild	196
<i>Ines M. Massimo-Kaiser¹</i>	
Vision2028 – Bauingenieurinnen sichtbar machen.....	206
<i>Sabrina May¹, Natalia Bienkowski²</i>	
Datenbasierte Prozessschrittterkennung mit neuronalen Netzen für das Kelly-Bohrverfahren	218
<i>B. Moos¹</i>	
Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit der BIM-Methode	226
<i>Konrad Neubaur¹</i>	
Veränderungen in der Bauproduktionsstrategie durch die Integration der additiven Fertigung	238
<i>Gerrit Placzek¹</i>	
Optimization of Predictions in TIM Using Sensordata opTIMus – Stand der Forschung	254
<i>Schneiderbauer Larissa¹, Loacker Larissa¹, Salzgeber Hannah¹, Harder Manfred¹, Glab Kathrin¹</i>	
Wirtschaftlichkeit von kooperativen Projektabwicklungsmodellen	270
<i>Julian Schütte¹, Axel Fricke²</i>	
Partnering-Ansatz für die Abwicklung eines Pilotprojektsfür die Instandsetzung von Schleusenanlagen unter laufendem Betrieb	288
<i>Elisa Schwarzweller¹</i>	

Automatisierte Planung von baubegleitenden Qualitätskontrollen302*Sebastian Seiß ¹***Lowtech-Gebäude als nachhaltige Alternative?316***Carolin Senkel ¹***Carbonbeton – Der Weg zum Standard332***Romy Wiel ¹, Charlotte Dorn ²***Potentiale für Bauprojekte durch die Implementierung von BIM und
Risikomanagement356***Gertraud Wolf^f*

Danksagung

Ein herzlicher Dank gilt unseren Sponsoren für ihre Unterstützung!



Was ist Target Value Design?

Carolin Baier¹, Maximilian Rolf-Dieter Budau², Ana Schilling Miguel³, Markus Greinwald⁴

¹ Karlsruher Institut für Technologie, carolin.baier@kit.edu

² Karlsruher Institut für Technologie, maximilian.budau@kit.edu

³ Karlsruher Institut für Technologie, ana.miguel@kit.edu

⁴ Karlsruher Institut für Technologie, unnwt@student.kit.edu

Kurzfassung

Die Umsetzung von ersten Pilotprojekten mithilfe von sogenannten Integrierten Projektentwicklungsmodellen im deutschsprachigen Raum hat zu einem zunehmenden Interesse an einzelnen Lean Managementmethoden wie Target Value Design (TVD), das als wesentlicher Treiber im Rahmen von IPA-Projekten angesehen wird, geführt. TVD kommt insbesondere im Entwurf und der Planungsphase unterstützend zum Einsatz und hilft dabei, den Kundenwert unter Einhaltung der Projektrandbedingungen zu entwickeln. Trotz der vielfachen Anwendung ist bisher kein einheitliches Verständnis zum Ursprung, der Definition sowie den Elementen von TVD vorhanden. Aus diesem Grund werden im Rahmen dieser Abhandlung auf Grundlage einer strukturierten Literaturrecherche wesentliche Ansätze zu TVD identifiziert und einander gegenübergestellt. Weiterhin werden dokumentierte Projektstudien vorgestellt, um mittels eines deskriptiven Ansatzes den Stand der Forschung sowie ausgewählte Beispiele aus der Praxis darzustellen.

Schlagwörter: Target Value Design, Integrierte Projektentwicklung, Lean Managementmethoden, Kundenwert

1 Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Target Costing als Ausgangspunkt für Target Value Design	4
2.1	Ursprung und Entwicklung des TVD.....	4
2.2	Ziele und Definition des Target Costing.....	5
3	Ziele, Bestandteile und Vorgehensweise im Target Value Design.....	6
3.1	Ziele und Definition des TVD	6
3.2	Prozess des TVD.....	7
3.2.1	Projekt Vorplanung.....	7
3.2.2	Projekt Definition.....	8
3.2.3	Entwurfs- und Genehmigungsplanung	8
3.2.4	Genehmigung, Ausführungsplanung, Bauphase und Projektabschluss.....	9
3.3	Unterstützende Elemente für das TVD.....	9
4	Ausgewählte Beispiele aus der Praxis	11
5	Diskussion und Ausblick	12
6	Literaturverzeichnis	12

1 Einleitung

Eine wesentliche Aufgabe der Projektabwicklung ist, die zu Beginn eines Projektes gesetzten Ziele umzusetzen. Die Ziele können sehr unterschiedliche Aspekte eines Projektes betreffen. Die vom Bauherrn am wichtigsten eingestufteten Ziele sind i.d.R. die Kosten- und Termintreue. Die Art und Weise, wie diese Ziele gesteuert werden, unterscheidet sich nur unwesentlich von Projekt zu Projekt. In der Regel werden zu gewissen Zeitpunkten im Verlauf eines Projektes, die zu erwartenden Kosten ermittelt und mit dem zur Verfügung stehenden Budget verglichen. Die Termine werden vielfach einseitig vorgegeben und im Anschluss anhand von Terminplänen überprüft. Durch dieses Verfahren kann erst reagiert werden, wenn sich Fehlentwicklungen durch Mehrkosten oder nicht eingehaltene Fristen äußern. Eine aktivere Form der Steuerung könnte dabei helfen, diese Fehlentwicklungen früher zu erkennen. In der Lean Community wurde hierzu unter anderem die Managementmethode „Target Value Design“ (TVD) entwickelt. TVD kommt insbesondere im Entwurf und der Planungsphase unterstützend zum Einsatz und hilft dabei, die Projektziele unter Einhaltung der Projektrandbedingungen zu erreichen und den Kundenwert zu steigern. Auch aus der sogenannten Integrierten Projektabwicklung (IPA) wird ein steigendes Interesse und eine zunehmende Anwendung von TVD in Bauprojekten beobachtet, sodass sich der derzeitige Einsatz von TVD nicht ausschließlich auf Lean Projekte beschränkt.

Trotz der bereits vielfachen Anwendung von TVD im Rahmen von IPA-Pilotprojekten ist bisher kein einheitliches Verständnis zum Ursprung, der Definition sowie den Elementen von TVD vorhanden. Aus diesem Grund werden im Rahmen dieser Abhandlung auf Grundlage einer strukturierten Literaturrecherche wesentliche Ansätze zu TVD identifiziert. Hierzu wird im ersten Schritt auf den Ursprung des TVD im „Target Costing“ eingegangen, bevor im nächsten Schritt die Ergebnisse der Literaturrecherche zum derzeitigen Stand der Forschung bzgl. TVD vorgestellt und diskutiert werden. Weiterhin werden ausgewählte Projektstudien hinsichtlich der Umsetzung von TVD analysiert. Zum Abschluss wird diskutiert, inwiefern die Abwicklung mit TVD wirklich eine Neuerung gegenüber der klassischen Projektabwicklung ohne TVD darstellt.

2 Target Costing als Ausgangspunkt für Target Value Design

2.1 Ursprung und Entwicklung des TVD

Wie bereits dargestellt hat TVD seinen Ursprung im Target Costing. Target Costing ist eine Methode des Lean Management, die insbesondere in der Produktneuentwicklung als Steuerelement für den Entwicklungs- und Planungsprozess dient. [2, S. 4] Die Methode wurde 1960 im Kontext des Toyota-Produktions-Systems durch den Automobil-Hersteller Toyota entwickelt. [3, S. 67, 4, S. 374] Während der Entstehung in Japan wurde Target Costing noch als "Genka Kikaku" bezeichnet [5, S. 601].

Später, im Zeitraum der 80er Jahre, übernahmen auch weitere japanische Automobil-Hersteller wie Nissan und Honda die Methode [6, S. 238]. In den 1990er Jahren wurden die Vorteile von Target Costing in den westlichen Industrienationen erkannt und die Methode verbreitete sich [7, S. 393]. Erst mit der Adaption in neuen Industriezweigen und der zunehmenden Verbreitung in anderen Ländern, vor allem den USA, wurde "Genka Kikaku" mit Target Costing in das Englische übersetzt. Diese Übersetzung unterliegt jedoch der Kritik verschiedener Autoren [8, 9]. Übersetzt ins Deutsche bedeutet "Genka Kikaku" "Planung der Selbstkosten". Dies lässt RÖSLER zu dem Schluss kommen, dass Target Costing ursprünglich lediglich auf die eigenen Kosten fokussiert gewesen ist, und erst später die Marktkosten berücksichtigt worden sind. [9, S. 12] Heutzutage ist die Methode Target Costing weltweit verbreitet und wird in unterschiedlichen Produktionsunternehmen angewandt und stetig weiterentwickelt [10, S. 322]. Mit der Veröffentlichung von NICOLINI ET AL. [11] wurde das Konzept von Target Costing auch auf die Bauindustrie übertragen [12]. Nachdem einige Fallstudien zur Erprobung der neuartigen Methode in den USA durchgeführt worden sind (siehe u.a. [11, 13]), wurde der Begriff des „Target Value Design“ in einem Whitepaper von MACOMBER UND BARBERIO [14] erstmalig näher definiert. Dies war der Ursprung einer vertiefenden Forschung zu der Methode. Seitdem werden Target Costing und Target Value Design in Bezug auf das Bauwesen nahezu synonymhaft verwendet. Target Value Design fand erstmals in den USA Anwendung im Bauwesen [13]. Später wurde das Konzept auch in Großbritannien [15] und Skandinavien [16] implementiert.

2.2 Ziele und Definition des Target Costing

Fokus der Methode Target Costing liegt nach KATO [8] auf einer Verminderung der Lebenszykluskosten - jedoch ohne dabei die Qualität des Produkts oder die Kundenanforderungen einzuschränken oder an Zuverlässigkeit zu verlieren. Um dies zu gewährleisten, sollen die Produktkosten als Eingangsgröße dienen. Dadurch werden sie zu einer festen Randbedingung. Somit wird vermieden, dass sie als Produkt des Entwicklungs- und Planungsprozesses entstehen [17]. Die wichtigste Regel der Methode ist es, die vorgegebenen Zielkosten (Target Costs) niemals zu überschreiten [4, S. 375]. Wie im klassischen Projektmanagement versucht diese Methode im Wesentlichen die drei Faktoren Kosten, Zeit und Qualität zu optimieren. Der Anspruch ist, die Marktanforderungen hinsichtlich dieser drei Faktoren zielgerichtet in der Planung zu berücksichtigen. [18, S. 171] KATO [8, S. 36] definiert TVD hierzu wie folgt:

„Target costing is an activity which is aimed at reducing the life-cycle costs of new products, by examining all possible ideas for cost reduction at the product planning, research and development, and the prototyping phases of production. But it is not just a cost reduction technique, it is part of a comprehensive strategic profit management system.“ [8, S. 36]

Dies stellt eine sehr allgemein gehaltene und auf verschiedene Wirtschaftszweige anwendbare Definition dar. Zusammenfassend lässt sich Target Costing auf dieser Basis als eine Methode zur Steuerung des Produktentwicklungsprozesses definieren, die mithilfe

eines frühen Kostenmanagements in Verbindung mit kooperativen Ansätzen zur Zusammenarbeit versucht, die Marktorientierung des Produktes zu erhöhen. Dabei sollen die Zielkosten nicht überschritten, der Kundenwert maximiert und die Lebenszykluskosten vermindert werden. [10, S. 322]

3 Ziele, Bestandteile und Vorgehensweise im Target Value Design

3.1 Ziele und Definition des TVD

Die TVD-Methode kann als die Anwendung von Target Costing in der Baubranche angesehen werden [19, S. 362, 20, S. 563]. TVD berücksichtigt hierbei die wesentlichen Unterschiede der Baubranche im Vergleich zum produzierenden Gewerbe. Bauprojekte zeichnen sich durch ihre Einzigartigkeit in ihren Anforderungen, äußeren Randbedingungen und Umständen aus und werden individuell auf ihre Kunden zugeschnitten. In der stationären Industrie werden hingegen Massenprodukte für eine Vielzahl unterschiedlicher Kunden erstellt. [21, S. 1] Auch die Definition von ALVES ET AL. [22, S. 20]:

„The TVD process embodies lean thinking principles, starting with a structured focus on defining value based on what the client needs.“

verdeutlicht, dass der Fokus auf dem gemeinsamen Verständnis des Kundenwerts liegt. Der Kunde muss dahingehend befähigt und unterstützt werden, den Kundenwert zu definieren und den richtigen Moment für Entscheidungen zu erkennen. [22, S. 21] Der zentrale Fokus der Kostensicherheit und -reduktion des Target Costing wird im TVD-Ansatz auf die Definition des Kundenwertes gelenkt.

TVD als Methode dient in der Planungsphase eines Bauvorhabens als Unterstützung, um Kostenkorrekturen, Änderungen von Anweisungen oder qualitätsmindernde Planungsanpassungen zu vermeiden. Diese Ziele sollen durch frühzeitige Kollaboration des Planungsteams und durch das gezielte Einbinden des Kunden erreicht werden, indem der Kundenwert innerhalb des vorgegebenen Budgets entwickelt und die Kosten über den Projektentwicklungs- und Planungsprozess transparent verfolgt werden. [14, S. 1, 20, S. 563] Derzeit existiert keine allgemeingültige Definition zu TVD. Die folgende Definition wird in der Literatur vielfach verwendet und findet daher auch im Rahmen dieser Arbeit Anwendung:

"TVD is a disciplined management practice used throughout project definition, design, detailing, construction, commissioning, and activation to assure that the facility meets the operational needs and values of the users, is delivered within the allowable budget, and promotes innovation throughout the process to increase value and eliminate waste (time, money, and human effort)." [22, S. 18-19]

3.2 Prozess des TVD

Derzeit gibt es kein einheitliches Verständnis zum prozessualen Vorgehen von TVD. In der Praxis wird der Prozess vielfach projektspezifisch angepasst. Um dennoch ein konzeptionelles Verständnis von TVD zu erlangen und individuelle Anpassungen einordnen zu können, wird häufig auf die Vorgehensweise nach BALLARD AND MORRISON [1] verwiesen (siehe Abb. 3-1). In den folgenden Unterkapiteln wird auf die einzelnen Prozessschritte dieses Ansatzes eingegangen.

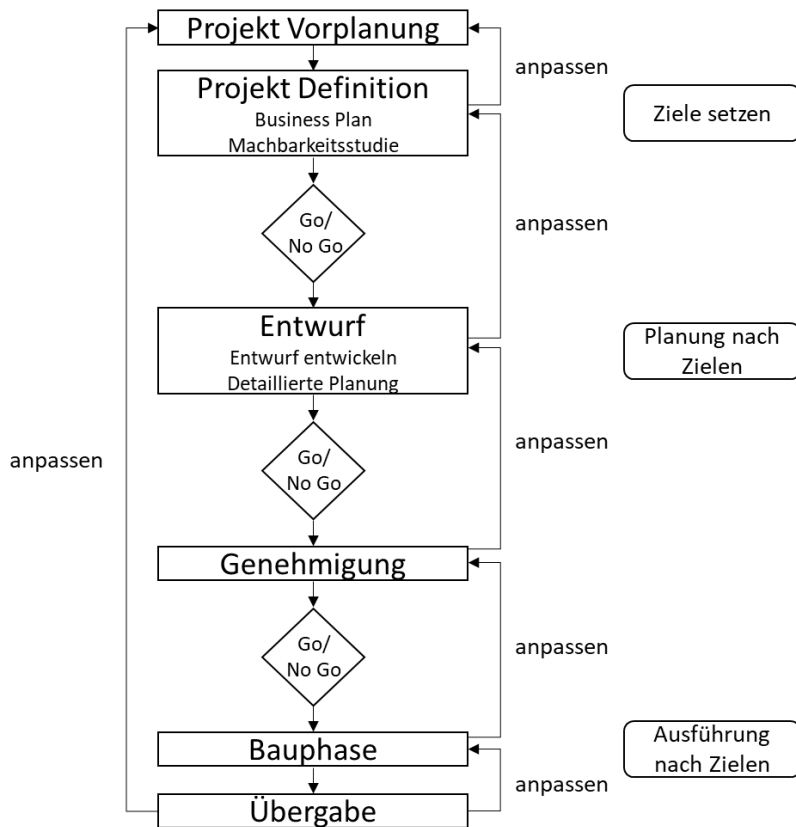


Abb. 3-1: Target Value Design Prozess nach BALLARD UND MORRIS [1] (übersetzt)

3.2.1 Projekt Vorplanung

Ziel der Projekt Vorplanung ist es, den Kundenwert vollständig abzubilden und die sogenannten „conditions of satisfaction“ zu definieren. Eine fundamentale Voraussetzung dafür ist, den Kunden von Beginn an in das Planungsteam zu integrieren und ihn zu befähigen, den Kundenwert zu definieren. Das Team muss darüber hinaus klären, wie die Kundenanforderungen gemessen werden können, damit das Planungsteam einen Maßstab zur Abwägung bei Entscheidungen hat. Beispielsweise können absolute Anfor-

derungen durch genaue Beschreibungen und weiche Anforderungen durch Messgrößen repräsentiert werden. Die Klassifizierung von Anforderungen nach z.B. „must-have“ and „want“ sowie Einzelgewichtungen für Kosten-, Qualitäts- und Terminziele helfen bei der Priorisierung. [21, S. 12-14, 23, S. 700]

3.2.2 Projekt Definition

Nachdem der Kundenwert im Projekt definiert ist, werden in der „Projekt Definition“ die zulässigen Kosten (engl.: Allowable Costs - AC) durch den Kunden festgelegt. Sie geben an, was der Kunde bereit ist, für die Erfüllung seines Kundenwertes zu zahlen. Die zulässigen Kosten werden mit Hilfe von vergleichbaren Projekten des Marktes verglichen und validiert. Liegen die zulässigen Kosten unter den Kosten für vergleichbare Projekte, besteht ein Puffer für weitere Wertsteigerungen. Überschreiten die zulässigen Kosten den Marktvergleichswert, sind die AC des Kunden kritisch zu betrachten. Der Kunde muss abwägen, ob eine Anpassung der Kundenanforderungen oder eine Erhöhung der zulässigen Kosten für ihn tragbar ist [21, S. 15-17, 24, S. 2].

Die Fixierung der AC ist der Ausgangspunkt für die kollaborative Planungsphase des Projektteams, welches aus Planern und ausführenden Firmen besteht. Um die zu erwartenden Kosten (expected costs – EC) zu definieren, wird eine Machbarkeitsstudie durchgeführt [24]. Hierfür wird eine konzeptionelle Planung des Projektes durchgeführt. Es folgt eine Gegenüberstellung der EC mit den AC, um die Realisierbarkeit des Projektes bewerten zu können [21, S. 17-18]. In diesem Zuge wird eine projektspezifische Analyse des Risikos empfohlen [23, S. 699-700].

Sind die AC kleiner als die EC, ist die Möglichkeit zunächst nicht gegeben, das Projekt zu den angegebenen Kosten zu realisieren. Tritt dies ein, müssen die Projektziele durch den Kunden und das Projektteam überarbeitet werden. Sind die AC größer als die EC, ist der finanzielle Rahmen für das Projekt gegeben und der Kunde kann mit der Finanzierung des Projektes beginnen [21, S. 18-19]:

3.2.3 Entwurfs- und Genehmigungsplanung

Nach der Projektdefinition beginnt die Planungsphase des Projekts. Als Basis für den nun beginnenden Planungsprozess dienen die gesetzten Ziele hinsichtlich der Kosten (Zielkosten) und der Qualitäten (Kundenwert). Die Ausrichtung der Planung, um die Ziele zu erreichen, wird in Abb. 3-1 durch das Feld „Planung nach Zielen“ repräsentiert. Hierzu werden Planungsgruppen nach Disziplinen bzw. Gewerken unterteilt [24, S. 12]. Dabei ist es wichtig, die verschiedenen Projektbeteiligten so früh wie möglich einzubinden, um eine optimierte Lösungsfindung zu gewährleisten [23, S. 700]. Jeder Gruppe wird ein Budget zugewiesen, welches auf die Gewichtung des Kundenwertes innerhalb der Zielkosten zurückzuführen ist [7, S. 395, 15, 21, S. 20]. Diese Vorgehensweise der Gewichtung gleicht der Zielkostenzerlegung des Target Costing (siehe Kapitel 2.3). Unter Einhaltung des zugewiesenen Budgets führen die einzelnen Teams ihren Planungsumfang durch, mit einem Fokus auf der Maximierung des Kundenwertes und der Minimierung der Verschwendung. Während des Planungsprozesses werden die Kosten sowie der Planungsfortschritt kontinuierlich aktualisiert und im Team reflektiert, sodass

Planungszyklen entstehen [24, S. 15]. Die Planungsphase gilt als abgeschlossen, wenn die Ziele (Wert, Kosten, „Planung nach Zielen“) durch die Planung erreicht sind, sodass die Freigabe für die Genehmigungsphase erfolgen kann.

3.2.4 Genehmigung, Ausführungsplanung, Bauphase und Projektabschluss

Mit der Baugenehmigung beginnt die eigentliche Wertschöpfung, der Start der Bauausführung. Wie in Abb. 3-1 dargestellt, gilt es nun, die Bauausführung in Richtung der Ziele zu steuern [21, S. 31]. Dazu können unterstützend verschiedene Methoden des Lean Managements verwendet werden. Mit Hilfe von Kennzahlen und einer kontinuierlichen Kostenverfolgung sollen die gesetzten Ziele (Kundenwert, Kosten) erreicht werden [21, S. 31, 23, S. 702, 25, S. 135].

Der Fokus des TVD Prozesses liegt auf einer ganzheitlichen Sicht des Projektes. Jedoch ist TVD eine Methode, die insbesondere die Projektbeteiligten innerhalb der Projektentwicklungs- und Planungsphase unterstützt, den Kundenwert unter Berücksichtigung des Projektbudget zu entwickeln. Die Bauausführung erfolgt dann nach etablierten Methoden des Lean Construction.

3.3 Unterstützende Elemente für das TVD

Eine Vielzahl von Veröffentlichungen zu TVD bezieht sich auf Fallstudien zu Projekten, die mit Hilfe des amerikanischen IPA-Ansatzes „Integrated Project Delivery“ (IPD) abgewickelt wurden [26–28]. IPD ist keine Grundvoraussetzung für die Anwendung von TVD, allerdings bedarf es finanzielle Anreize für eine kollaborativen Zusammenarbeit im Projekt [21, S. 7]. Diese Anreize können beispielsweise Zielkostenverträge bieten, da sie eine Chancen- und Risikobeteiligung der Vertragspartner beinhalten. Zusätzlich gilt es, die Zielerreichung an Qualität und Termine zu koppeln [23, S. 703]. Alle Beteiligte, die das Projekt wesentlich beeinflussen, müssen in ein gemeinsames finanzielles Anreizsystem integriert werden, sodass eine ausgeglichene Chancen- Risikobeteiligung stattfindet und ein Ungleichgewicht im Team vermieden werden kann [20, S. 566].

In der Literatur werden weitere Methoden genannt, die bei der Umsetzung von TVD unterstützend wirken. Aus der Anwendung verschiedener Methoden in Kombination mit der Methode TVD erfolgt die individuelle Auslegung des TVD Prozesses in der Praxis. Die unterstützenden Methoden können übergeordnet durch die Handlungsfelder *Visualisieren*, *Entscheiden* und *Steuern* (siehe Abb. 3-2) beschrieben werden.

Visualisieren

Visualisierungen ermöglichen nicht nur in einer frühen Phase eine Vorstellung des Produktes, auch helfen Methoden der Visualisierung bei der Darstellung von Prozessen und Schnittstellen. Ein wesentlicher Ansatz ist die Anwendung von *BIM* in Kombination mit TVD. Die *3D-Modellierung* ermöglicht eine Visualisierung der Planung sowie der Bauphasen. Weiterhin können die Bauteile mit Kosten verknüpft werden, sodass die Kosten über den Planungsfortschritt kontinuierlich verfolgt werden [22, S. 25, 23, S.

700, 29, S. 77]. Die Verknüpfung der 3D-Planung mit der Kostendimension ermöglicht neben dem Visualisieren die modellbasierte Kostensteuerung.

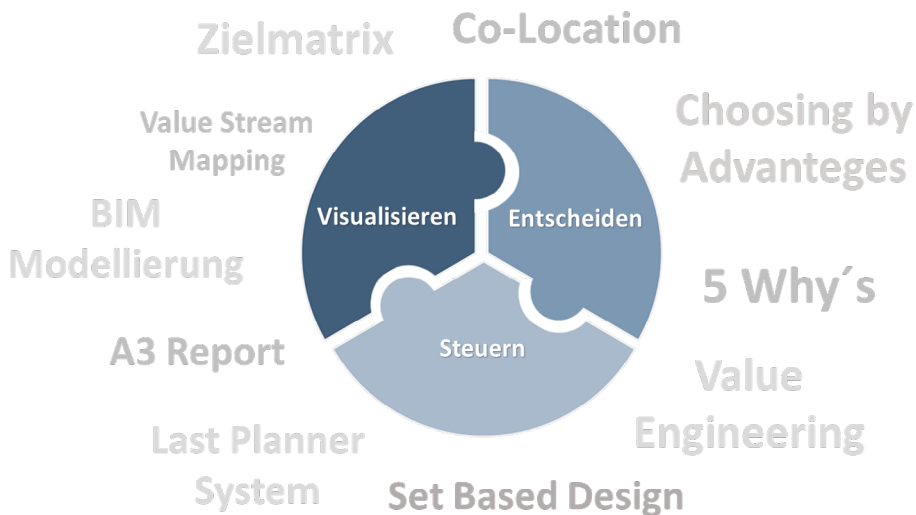


Abb. 3-2: Unterstützende Methoden geordnet nach Handlungsfeldern (eigene Darstellung)

Entscheiden

Entscheidungsprozesse sind ein wesentlicher Bestandteil von TVD. Während der Zieldefinition und der konzeptionellen Planung müssen Entscheidungen unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen kollaborativ im Team getroffen werden. Methoden wie beispielsweise *Choosing by Advantages* und *A3 Reports* unterstützen den Entscheidungsprozess durch Transparenz, Struktur und Objektivität, sodass Entscheidungen hinsichtlich der Projektziele bzw. dem Kundenwert getroffen werden können [15, 21, S. 23, 30, S. 466].

Steuern

Das Entscheiden wie auch das Visualisieren sind als Bestandteile des Steuerns anzusehen. Das Steuern in interdisziplinären und kollaborativen Teams nimmt im Vergleich zu traditionellen Projekten einen neuen Stellenwert ein. Das gemeinsame Arbeiten in einer *Co-Location* und der *Big-Room* als zentraler Treffpunkt, um Planungsschritte und -varianten zu visualisieren, mit Kennzahlen messbar zu machen und kollaborative Entscheidungen zu treffen, gelten als etablierte Elemente der kollaborativen Arbeitsweise [14, S. 3, 15, S. 10, 31, S. 334-337].

4 Ausgewählte Beispiele aus der Praxis

Wie die obigen Ausführungen zeigen, wurde der Begriff TVD in der Vergangenheit zum Teil sehr unterschiedlich verwendet. Die Projektstudien, die sich der Literatur entnehmen lassen, sind daher lediglich bedingt miteinander vergleichbar. Der Ausgangspunkt der Entwicklung und daher Ort der ersten Pilotprojekte ist die USA. Als erstes erfolgreiches TVD-Pilotprojekt wird vielfach ein Schulprojekt in den USA genannt [13]. Weitere Projekte folgten dann im Sektor des Gesundheitswesens. Es wurden unter anderem Krankenhäuser, Labore und Büros unter Anwendung von TVD geplant und erbaut [32, S. 173]. Hierzu existieren diverse Artikel [20, S. 563, 27, S. 5-7, 33, 34, S. 388]. Ein Meilenstein dieser Strömung stellt der Benchmark von TOMMELEIN und BALLARD [21] dar. Berichte zu TVD-Anwendungen sind auch vielfach Teil von Projektstudien zu IPA-Projekten. Die folgende Tab. 4-1 gibt einen Überblick zu umfangreichen Projektstudien, die in diesem Zusammenhang zu nennen sind.

Herausgeber bzw. Autor	Jahr	Titel
AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS [35]	2012	IPD Case Studies
COHEN [36]	2010	Integrated Project Delivery: Case Studies
TAMPERE CITY ET AL. [37]	2013	Rantatunneli Alliance project
DO, BALLARD, TILLMANN [38]	2015	The Application of Target Value Design in the Design and Construction of the UHS Temecula
UNIVERSITY OF MINNESOTA ET AL. [39]	2016	Motivations and Means: How and Why IPD and Lean Lead to Success

Tab. 4-1: Überblick zu vergleichbaren Projektstudien

Weitere Veröffentlichungen lassen zumindest die Anwendung von TVD vermuten. Es ist jedoch zu hinterfragen, ob die exakte Umsetzung der obigen Definition entspricht. So wurden beispielsweise im Vereinigten Königreich Möglichkeiten zur Implementierung von TVD geprüft [15, S. 2]. Bis 2017 wurde jedoch keine erfolgreiche Anwendung der Methodik im Vereinigten Königreich dokumentiert [40, S. 4]. In Skandinavien wird TVD in öffentlichen Bauprojekten (vorwiegend Infrastrukturprojekte) verwendet, um die Kostensteigerungen zu begrenzen [28, S. 1171]. Auch zur Anwendung der Methode im Hochbau („high-performance building“, [2, S. 4]) wird in Norwegen geforscht. In Südamerika gibt es Bestrebungen, TVD für die Bauwirtschaft nutzbar zu machen. Dort liegt der Fokus auf der Entwicklung eines Konzepts für die Implementierung im Wohnungs- und Bürobau [19, S. 368, 41, S. 71, 42, S. 1480].

In Deutschland ist TVD noch nicht etabliert, obgleich sich einige Autoren [23, 43] mit der Thematik beschäftigen. Allerdings gibt es bis auf das Projekt „Kongresshotel Hamburg“ [23, S. 722] keine weiteren dokumentierten Anwendungen von TVD in Deutschland.

5 Diskussion und Ausblick

Das Ziel dieses Beitrags war es, die Grundlage für ein einheitliches Verständnis zum Ursprung, der Definition sowie den Elementen von TVD zu schaffen. Hierzu wurde insbesondere eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. TVD geht auf das sogenannte Target Costing zurück. Dieser Ansatz stammt aus der stationären Industrie. Dieser Industriezweig nutzt diesen Ansatz, um das Design und damit die Produktion stärker auf die Kosten eines Produktes auszurichten, sodass die erforderliche Marge sicher erzielt werden kann. Die Kostenziele werden somit zu einem Gestaltungskriterium innerhalb der Planung der Produktion. TVD setzt an die Stelle der Kostenziele die Projektziele im Rahmen eines Bauprojektes. Insbesondere die Planung ist an diesen Zielen auszurichten. Der Unterschied zu einer traditionellen Planung zeigt sich an einzelnen Punkten. TVD erfordert beispielsweise unter anderem eine sehr viel kurzzyklischere Ermittlung der zu erwartenden Kosten. Kann dies nicht umgesetzt werden, ähnelt der TVD-Prozess in vielfacher Hinsicht klassischen Planungsprozessen, die zumindest zum Abschluss von Planungsphasen Kostenermittlungen vorsehen. Ein signifikanter Unterschied zu klassischen Planungsprozessen entsteht erst dann, wenn die in Kapitel 3.3 beschriebenen unterstützenden Elemente zum Einsatz kommen. Diese Elemente können insbesondere dann umgesetzt werden, wenn ein integrierter Projektabwicklungsansatz gewählt wird.

Auch die ersten TVD-Pilotprojekte zeigen, dass sich der Gedanke des TVD insbesondere im Rahmen von IPA-Projekten umsetzen lässt. Es stellt sich daher die Frage, ob TVD überhaupt außerhalb von IPA-Projekten vollumfänglich umsetzbar ist und, wie TVD letztlich von IPA abzugrenzen ist. Diese Veröffentlichung konnte hierzu einen ersten Beitrag leisten. Um diese Frage abschließend klären zu können, müssen jedoch weitere Erfahrungen in der Praxis gesammelt werden.

6 Literaturverzeichnis

- [1]G. Ballard und P. H. Morris, Maximizing owner value through target value design, 2010. [Online]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/281925177_Maximizing_owner_value_through_target_value_design
- [2]A. Engebø, O. Torp und O. Lædre, „Development of Target Cost for a High-Performance Building“ in 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Lima, Peru, 2021, S. 3–12, doi: 10.24928/2021/0131.
- [3]A. R. Hibbets, T. Albright und W. Funk, „The Competitive Environment And Strategy Of Target Costing Implementers: Evidence From The Field“, Journal of Managerial Issues, Jg. 15, Nr. 1, S. 65–81, 2003. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.jstor.org/stable/40604415>
- [4]P. Afonso, V. Gasparetto und C. Bornia, „Analysis of the Perceptions on Target Costing Using a Pedagogical Case Study“ in Industrial Engineering and Operations Management: XXVI IJCIEOM (2nd Edition), Rio de Janeiro, Brazil, February 22–24, 2021, Cham, 2021, S. 373–386.

- [5]A. M. Jacomit, A. D. Granja und F. A. Picchi, Target Costing Research Analysis: reflections for construction industry implementation, 2008.
- [6]R. S. S. de Melo, A. D. Granja und G. Ballard, „Collaboration to Extend Target Costing to Non-Multi-Party Contracted Projects: Evidence From Literature“, 21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, S. 237–246, 2013. [Online]. Verfügbar unter: <https://iglc.net/Papers/Details/928>
- [7]A. Alwisy, A. Bouferguene und M. Al-Hussein, „Factor-based target cost modelling for construction projects“, Can. J. Civ. Eng., Jg. 45, Nr. 5, S. 393–406, 2018, doi: 10.1139/cjce-2017-0289.
- [8]Y. Kato, „Target costing support systems: lessons from leading Japanese companies“, Management Accounting Research, Jg. 4, Nr. 1, S. 33–47, 1993, doi: 10.1006/mare.1993.1002.
- [9]F. Rösler, Target Costing Für Die Automobilindustrie. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag, 1996.
- [10]H. Ahn, M. Clermont und S. Schwetschke, „Research on target costing: past, present and future“ (En;en), Manag Rev Q, Jg. 68, Nr. 3, S. 321–354, 2018, doi: 10.1007/s11301-018-0141-y.
- [11]D. Nicolini, C. Tomkins, R. Holti, A. Oldman und M. Smalley, „Can Target Costing and Whole Life Costing be Applied in the Construction Industry?: Evidence from Two Case Studies“ (en), Br J Management, Jg. 11, Nr. 4, S. 303–324, 2000, doi: 10.1111/1467-8551.00175.
- [12]G. Ballard und Z. K. Rybkowski, Overcoming the Hurdle of First Cost: Action Research in Target Costing. American Society of Civil Engineers, 2012.
- [13]G. Ballard und P. Reiser, „The St. Olaf College Fieldhouse Project: A Case Study in Designing to Target Cost“, 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2004. [Online]. Verfügbar unter: <https://iglc.net/Papers/Details/325>
- [14]H. Macomber und J. Barberio, „Target-Value Design: Nine Foundational Practices for Delivering Surprising Client Value“, 2007. [Online]. Verfügbar unter: <https://leanconstruction.org/uploads/wp-media/docs/chapterpdf/israel/Target-Value-Design.pdf>
- [15]A. K. Kaushik, K. P. Keraminiyage, L. J. Koskela, P. Tzortzopoulos Fazenda und G. Hope, Knowledge transfer partnership : implementation of target value design in the UK construction industry, 2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/31823/>
- [16]G. Y. Smoge, O. Torp und A. Johansen, „Maturity of TVD Implementation in Norwegian Public Building Projects“ in 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Berkeley, California, USA, 2020, S. 385–396, doi: 10.24928/2020/0087.
- [17]R. Cooper und R. Slagmulder, „Develop Profitable New Products with Target Costing“, Jg. 1999, S. 23, 1999.
- [18]C. Brünger und C. Faupel, „Target Costing: Pragmatische Ansätze für eine erfolgreiche Anwendung“ (de), Z. Control. Manag., Jg. 54, Nr. 3, S. 170–174, 2010, doi: 10.1007/s12176-010-0057-4.
- [19]P. Orihuela, J. Orihuela und S. Pacheco, „Communication Protocol for Implementation of Target Value Design (TVD) in Building Projects“, Procedia Engineering, Jg. 123, S. 361–369, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.048.
- [20]P. A. Tillmann, D. Do und G. Ballard, „A Case Study on the Success Factors of Target Value Design“ in 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Heraklion, Greece, 2017, S. 563–570, doi: 10.24928/2017/0324.
- [21]I. Tommelein und G. Ballard, Target Value Design Introduction, Framework, and Current Benchmark, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://escholarship.org/uc/item/29m7163g>

- [22] T. C. L. Alves, W. Lichtig und Z. K. Rybkowski, „Implementing Target Value Design“ (eng), HERD, Jg. 10, Nr. 3, S. 18–29, 2017, doi: 10.1177/1937586717690865.
- [23] M. Sundermeier und P. Beidersandwich, „Zielkostenmanagement und Zielkostenverträge für komplexe Bauvorhaben“ in Springer eBook Collection, Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht: 50 Jahre Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Graz, C. Hofstadler, Hg., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019, S. 695–727, doi: 10.1007/978-3-658-27431-3_48.
- [24] G. Ballard, „Target Value Design“, INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE - DESIGN 2012, 2012.
- [25] K. Hill, K. Copeland und C. Pikel, Target Value Delivery: Practitioner Guidebook to Implementation: Current State 2016, 2016.
- [26] C. A. Oliva, A. D. Granja, G. Ballard und R. S. de Melo, „Assessing Suitability of Target Value Design Adoption for Real Estate Developers in Brazil“, 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-da396608-2cd7-47b1-ac9b-481361489530.pdf>, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iglc.net/Papers/Details/1260>
- [27] S. Denerolle, The application of Target Value Design to the design phase of 3 hospital projects. Berkeley, 2013. [Online]. Verfügbar unter: <http://p2sl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/03/denerolle-2011-application-of-tvd-to-the-design-phase-of-3-hospital-projects.pdf>
- [28] A. Johansen, A. Engbo, O. Torp und B. T. Kalsaas, Development of target cost – By the owner or together with Contractors - Target Value Design, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877050921003653?token=5235758AB409671F50E2C60296FE54DB347710D35E4BD75457D4208C82BF2878B7220B9EF9CC0B13119A1DA103892C26&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210818111932>
- [29] Y.-W. Kim und I. Alseadi, „Identification and Evaluation of the Influencing Factors in Target Value Design Process through an Industry Survey“ (en), 1, Jg. 10, Nr. 2, S. 75–83, 2021, doi: 10.32732/jcec.2021.10.2.75.
- [30] P. Arroyo und D. Long, „Collaborative Design Decisions“ in 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Chennai, India, 2018, S. 463–472, doi: 10.24928/2018/0509.
- [31] C. Nesensohn, „Lean Construction in der Planung“ in Lean Construction – Das Managementhandbuch: Agile Methoden und Lean Management im Bauwesen, M. Fiedler, Hg., 1 Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017, S. 325–340, doi: 10.1007/978-3-662-55337-4_20.
- [32] D. Do, C. Chen, G. Ballard und I. D. Tommelein, „Target Value Design as a Method for Controlling Project Cost Overruns“, 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, S. 171–181, 2014. [Online]. Verfügbar unter: <https://iglc.net/Papers/Details/1065>
- [33] G. Ballard, „Target Value Design: Current Benchmark (1.0)“ in Lean Construction Journal (2011), 79–84. [Online]. Verfügbar unter: http://p2sl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/03/Ballard-2011-Target-Value-Design-Current-Benchmark-1.0-LCJ_11_009.pdf
- [34] D. Zimina, G. Ballard und C. Pasquire, „Target value design: using collaboration and a lean approach to reduce construction cost“, Construction Management and Economics, Jg. 30, Nr. 5, S. 383–398, 2012, doi: 10.1080/01446193.2012.676658.
- [35] American Institute of Architects, Hg., „IPD Case Studies“, American Institute of Architects, 2012. [Online]. Verfügbar unter: http://rp.design.umn.edu/resources/documents/IPD-Case-Study-Matrix-2012_corrected02.pdf. Zugriff am: 7. April 2018.

- [36]J. Cohen, „Integrated Project Delivery: Case Studies“, American Institute of Architects, 2010. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ipda.ca/site/assets/files/1111/aia-2010-ipd-case-studies.pdf>. Zugriff am: 21. April 2018.
- [37]Finnish Transport Agency, „Rantatunneli: Value for money report“, 2018. [Online]. Verfügbar unter: www.fta.fi. Zugriff am: 28. Februar 2021.
- [38]D. Do, G. Ballard und P. Tillmann, Part 1 of 5: The Application of Target Value Design in the Design and Construction of the UHS Temecula Valley Hospital, 2015. [Online]. Verfügbar unter: http://p2sl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/03/do_ballard_tillmann-2015-application-of-tvd...-uhs-temecula-valley-hospital.pdf
- [39]University of Minnesota, University of Washington und University of British Columbia, Hg., „Motivations and Means: How and Why IPD and Lean lead to Success“, University of Minnesota; University of Washington; University of British Columbia, 2016. [Online]. Verfügbar unter: https://www.leanconstruction.org/wp-content/uploads/2016/02/MotivationMeans_IPDA_LCI_Report.pdf. Zugriff am: 7. April 2018.
- [40]S. A. Namadi, C. Pasquire und E. Manu, „Discrete Costing Versus Collaborative Costing“ in 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Heraklion, Greece, 2017, S. 3–10, doi: 10.24928/2017/0341.
- [41]H. M. M. Neto, D. B. Costa und L. Thomas, „Target Value Design Approach for Real Estate Development“, 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, <https://iglc-storage.blob.core.windows.net/papers/attachment-3077cb6f-4cdf-40df-8ce1-d2d571d025fe.pdf>, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://iglc.net/Papers/Details/1341>
- [42]C. A. Oliva und A. D. Granja, „Target Value Design in Real Estate Market: A Conceptual Map Model“ in 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Dublin, Ireland, 2019, S. 1479–1492, doi: 10.24928/2019/0273.
- [43]C. Kron und R. von der Haar, „Target Costing for the Development of Office Buildings“, 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-6d021299-4730-46b5-be08-f132f4efbc72.pdf>, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://iglc.net/Papers/Details/1340>

Identifizierung von Anreizen in Verträgen nach der VOB/A-EU unter Einbezug von der VOB/B

Simon Christian Becker¹

¹ Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft, Universität der Bundeswehr München, s.christian.becker@unibw.de¹

Kurzfassung

Im Bericht der Reformkommission Bau von Großprojekten wurde aufgeführt, dass eine partnerschaftliche Projektzusammenarbeit in der Umsetzung von öffentlichen Großprojekten zu einem wahrscheinlicheren Projekterfolg führt. Um die Basis dieser Zusammenarbeit zu schaffen, sollen Anreizmechanismen in die Verträge aufgenommen werden. Dabei ist zunächst zu klären, worum es sich bei einem „Anreiz“ handelt. Hierzu wird der Begriff mit der Motivationsforschung hergeleitet. Unter Anwendung der Prinzipal-Agent-Theorie wird dann aufgezeigt, wie eine Zielangleichung der Vertragsparteien durch „Anreize“ erzeugt werden und zu einem kooperativen Verhalten führen kann. Anschließend wird auf die für öffentliche Auftraggeber vorgesehenen Vertragsarten im Oberschwellenbereich, unter Berücksichtigung der VgV auf die VOB/A-EU und den Vertragsbedingungen nach VOB/B, eingegangen. Hierbei werden die immanenten Anreize der Vertragsarten Einheitspreis-, Pauschalpreis- und des Stundenlohnvertrages identifiziert. Nachfolgend wird die VOB/B betrachtet und die Paragraphen erläutert, welche eine Anreizwirkung auf die Vertragsparteien aufweisen. Es lässt sich dabei feststellen, dass sowohl die VOB/A-EU als auch die VOB/B Anreize für beide Vertragsparteien beinhaltet. Sowohl die gegebenen Vertragsarten als auch die Vertragsbedingungen führen jedoch nicht zu einer Angleichung der Ziele zwischen den Vertragsparteien. Die Förderung einer partnerschaftlichen Projektzusammenarbeit ist mit VOB/A-EU und VOB/B nur begrenzt zu realisieren.

Schlagwörter: VOB/A, VOB/B, öffentliche Auftraggeber, Anreizvertrag, Bonus, Malus, Prinzipal-Agent-Theorie

¹ Diese Veröffentlichung wird durch dtcc.bw – Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr gefördert [DigiPeC – Digital Performance Contracting Competence Center].

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	18
2	Abgrenzung der Verträge und der Vertragsbedingungen für öffentliche Auftraggeber.....	18
3	Wissenschaftlicher Kontext zu dem Begriff „Anreiz“	19
4	Prinzipal-Agent-Theorie	19
5	Vertragsarten nach VOB/A-EU.....	20
5.1	Einheitspreisvertrag.....	20
5.1.1	Anreize des Einheitspreisvertrags.....	21
5.2	Pauschalpreisvertrag (Detail-Pauschalpreisvertrag und Global-Pauschalpreisvertrag)	21
5.2.1	Detail-Pauschalpreisvertrag.....	22
5.2.2	Global-Pauschalpreisvertrag	22
5.2.3	Anreize des Pauschalpreisvertrages.....	22
5.3	Stundenlohnvertrag.....	23
5.3.1	Anreize des Stundenlohnvertrags.....	23
6	Anreize nach VOB/A-EU und VOB/B.....	24
6.1	Bauzeitbeschleunigung	25
6.2	Bauzeitüberschreitung	26
6.3	Zahlung.....	26
6.4	Mängel	27
6.5	Abschließende Betrachtung der VOB/B.....	27
7	Schlussbetrachtung.....	28
8	Literatur	28

1 Einleitung

Im Aktionsplan der Reformkommission Bau von Großprojekten wurde festgehalten, dass partnerschaftliche Projektzusammenarbeit den Projekterfolg von Großprojekten steigert. Zur Förderung der Kooperation und der Zusammenarbeit sollen Anreizmechanismen eingesetzt werden [1, S. 9]. In diesem Beitrag wird zunächst der Begriff des „Anreizes“ geklärt. Anschließend werden mit der wirtschaftswissenschaftlichen Prinzipal-Agent-Theorie die Verhaltensweisen zweier Vertragspartner aufgezeigt. Daraus wird abgeleitet, inwiefern ein Anreiz eine partnerschaftliche Projektzusammenarbeit unterstützt. Dafür werden die für den öffentlichen Bausektor primären Vertragsarten, nach Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil A (VOB/A) Abschnitt 2 (VOB/A-EU), beschrieben und deren immanente Anreize identifiziert. Abschließend wird die VOB/B betrachtet und die Paragraphen erfasst, welche Anreize für den Auftraggeber (AG) und den Auftragnehmer (AN) darstellen.

2 Abgrenzung der Verträge und der Vertragsbedingungen für öffentliche Auftraggeber

Zur Abgrenzung der Thematik werden in diesem Beitrag nur die Vertragsarten für öffentliche Auftraggeber im Oberschwellenbereich betrachtet. Als weitere Differenzierung werden die Verträge nach Vergabeverordnung (VgV) berücksichtigt. Dies inkludiert die VOB und schließt die Sektorenverordnung (SektVO) aus.

Die VOB ist in drei Teile gegliedert (A, B und C). Sie regelt die Vergabe von Bauaufträgen öffentlicher Auftraggeber und den Inhalt von Bauverträgen in Deutschland.

Die drei Teile der VOB sind wie folgt gegliedert [2, S. 2]:

- VOB/A: Teil A impliziert die Allgemeinen Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen, den vergaberechtlichen Teil. Sie ist in den 1. Abschnitt für nationale Vergaben sowie den 2. Abschnitt für die Bauvergabeverfahren der Vergabeverordnung unterteilt.
- VOB/B: Teil B bezieht sich auf die Allgemeinen Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen, den vertragsrechtlichen Teil.
- VOB/C: Teil C enthält die Allgemeinen technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen, den bautechnischen Teil.

Aufgrund der zuvor getroffenen Abgrenzung werden im Weiteren nur noch die VOB/A und die VOB/B betrachtet. Trotz der inhaltlichen Nähe der beiden Abschnitte der VOB/A, wird primär auf den 2. Abschnitt Bezug genommen, da Großprojekte diesem zuzuordnen sind. Auf weitere rechtliche und normative Verweise wird verzichtet, da davon ausgegangen wird, dass der oder die Leser/-in diese bereits kennt.

3 Wissenschaftlicher Kontext zu dem Begriff „Anreiz“

Die Motivation von Menschen bestimmte Handlungen auszuführen oder Ziele zu erreichen, wird durch Anreize beeinflusst [3, S. 23]. Bei einer holistischeren Betrachtung kann dieses Verhalten auch auf Unternehmen adaptiert werden. In der Motivationsforschung lässt sich dabei zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation differenzieren [4, S. 120-121].

Die intrinsische Motivation erfolgt aus dem eigenen Antrieb, ohne die Einwirkung Dritter, heraus. Das bedeutet, dass die Motivation aus Eigeninteresse resultiert. [3, S. 23]. Die intrinsische Motivation wird im Weiteren nicht näher erläutert.

Die extrinsische Motivation wird durch von außen einwirkende Anreize hervorgerufen. Extrinsische Anreize können dabei positive als auch negative Auswirkungen hervorrufen (vgl. Tab. 3-1)[3, S. 23]. Ein positiver, nicht monetärer, Anreiz wäre z.B. eine berufliche Beförderung. Die negative Dimension dieses Beispiels wäre die Degradierung. Aus ökonomischer Sicht stellt eine Belohnung einen pekuniären Bonus dar. Der Komplementär ist die Bestrafung in Form eines Malus. Ein Beispiel für einen Bonus wäre eine zusätzliche Zahlung (Bonuszahlung) des Arbeitgebers an den Arbeitnehmer für das persönlich erreichte Jahresumsatzziel.

Extrinsische Anreize	
Positiv	Negativ
Aufstiegchance (Beförderung)	Degradierung
Belohnung (Bonus)	Bestrafung (Malus)

Tab. 3-1 Übersicht Extrinsischer Anreize (in Anlehnung an [3, S. 23])

Mit der extrinsischen Motivation wird auch ein extrinsischer Anreiz verbunden. Bei einem extrinsischen Anreiz ist immer eine Zielvereinbarung mit einem Entgelt verbunden [4, S. 121]. Im weiteren Sinne kann jeder Vertrag als Anreizvertrag angesehen werden, mit dem ein AG oder AN einen wirtschaftlichen Erfolg (Gewinn) erzielen kann. Im Weiteren wird unter dem Begriff des „Anreizes“ immer ein extrinsischer Anreiz verstanden.

4 Prinzipal-Agent-Theorie

Die Prinzipal-Agent-Theorie (PA-Theorie) umfasst alle Beziehungen zwischen Individuen, die in einer gegenseitigen Einflussnahme stehen. Dabei betrachtet die PA-Theorie ein vertragliches Schuldverhältnis zwischen zwei Wirtschaftssubjekten: Den Prinzipal (umgangssprachlich als Auftraggeber bezeichnet) und den Agent (umgangssprachlich als AN bezeichnet). Der Prinzipal und der Agent stehen dabei in einem vertraglichen Schuldverhältnis [5, S. 98]. Als Beispiel: Der Bauherr (Prinzipal) beauftragt ein Bauunternehmen (Agent) zur Errichtung einer Immobilie. Bei einem Werksvertrag schuldet

das Bauunternehmen dem Bauherrn einen Erfolg. Im Gegenzug schuldet der Bauherr dem Bauunternehmen für die Leistungserbringung einen monetären Ausgleich. Dabei verfolgen die beiden Vertragsparteien unterschiedliche Interessen [5, S. 100]. Der AG hat als primäres Ziel, dass die Differenz zwischen den Lebenszykluserträgen und Lebenszykluskosten, d.h. die Rendite, möglichst groß wird, damit seine Investition einen hohen wirtschaftlichen Ertrag bringt [6, S. 138]. Ein Bauunternehmen wird bei einer konventionellen Projektabwicklung nur an der Phase der Bauausführung beteiligt und interessiert sein. Daher wird das Ziel des Bauunternehmens sein, einen möglichst wirtschaftlichen und effektiven Bauablauf, unter Berücksichtigung des vertraglich fixierten Terminrahmens, zu gewährleisten [7, S. 23]. Dadurch liegt ein Zielkonflikt vor. Der Prinzipal verfolgt andere Ziele als der Agent. Der Ansatz des Neuen Instituts Ökonomie setzt die PA-Theorie als Homo Oeconomicus voraus [8, S. 35-36]. Das heißt es gibt die Herausforderung, dass beide Vertragsparteien eine Nutzenmaximierung bestreben. Dies führt zu divergierenden Zielpräferenzen. Anreize sollen so für den Agenten gesetzt werden, dass seine Entscheidungen und Handlungen auf die Interessen des Prinzipals ausgerichtet sind [9, S. 24]. Der Vertrag fungiert dabei als das Schlüsselement dieser Zielangleichung, da in diesem die Anreize vereinbart werden. Im nächsten Kapitel werden die möglichen Vertragsmuster nach VOB/A-EU beschrieben und deren Anreize identifiziert.

5 Vertragsarten nach VOB/A-EU

Die VOB/A-EU beinhaltet die Regelungen zur Ausschreibung und Vergabe von öffentlichen Auftraggebern sowie sogenannter quasi-öffentlicher Auftraggeber bei Erreichen und oberhalb der Schwellenwerte. In der VOB/A-EU sind drei primäre Vertragsarten aufgeführt:

- § 4 Abs. 1 Nr. 1 Einheitspreisvertrag,
- § 4 Abs. 1 Nr. 2 Pauschalpreisvertrag und
- § 4 Abs. 2 Stundenlohnvertrag.

Das Auf- und Abgebotsverfahren nach §4 Abs. 4 wird vollständigshalber erwähnt, aber im Weiteren nicht näher erläutert. Ebenso werden die nach §4a VOB/A-EU beschriebenen Rahmenvereinbarungen nicht betrachtet. Nachfolgend werden die drei Vertragsarten (Einheitspreis-, Pauschalpreis- und Stundenlohnvertrag) kurz beschrieben und am Ende des jeweiligen Abschnittes deren Anreizwirkung aufgezeigt.

5.1 Einheitspreisvertrag

Grundlage des Einheitspreisvertrages ist die Leistungsbeschreibung mit dem Leistungsverzeichnis. Des Weiteren werden qualitative Angaben über den Bauinhalt und die Baumstände gemacht. Bei den Mengenangaben handelt es sich jedoch um den voraus-

sichtlichen Umfang der jeweiligen Teilleistung. Der Anbieter muss für die Teilleistungen sogenannte Einheitspreise (EP) kalkulieren. Die Abrechnung erfolgt dann anhand der tatsächlich erbrachten Mengen, die mit dem jeweiligen EP multipliziert werden [10, S. 4]. Daraus lässt sich ableiten, dass der qualitative Bauinhalt fixiert ist, der quantitative Bauinhalt ist vorläufig. Die Vergütung erfolgt anschließend auf Grundlage der tatsächlich erbrachten Leistungen. Das Vollständigkeits- und Mengenrisiko der Leistung verbleibt beim AG [11, S. 70].

5.1.1 Anreize des Einheitspreisvertrags

Bei einem Einheitspreisvertrag haben sowohl der AG als auch der AN den Anreiz die Über- oder Unterdeckung der anfallenden Kosten durch Mengenänderungen, zur Erreichung ihrer individuellen Zielvorstellung, für sich zu nutzen. Außerdem kann auch ein Anreiz des AN darin liegen, nur das Mindestmaß der Qualitätsansprüche zu erfüllen. Das heißt, dass der AN z.B. bei Toleranzen im Hochbau nach DIN 18202 die minimale bzw. maximale Abweichung für Bauteile ausnutzt, um dadurch Kosten zu sparen. Mit einer Reduzierung der Qualität können auch die entstehenden Kosten für den AN gesenkt werden. Das Vollständigkeits- und das Fehlerrisiko im Leistungsverzeichnis obliegt dem AG [12, S. 27-28]. Das bedeutet, dass der AN auf mögliche Unvollständigkeits- und Fehler spekuliert. Der AN wird versuchen, Positionen, welche mit einer geringeren Anzahl kalkuliert wurden, mit einem höheren Preis zu versehen, um einen höheren Gewinn über diese Position zu erwirtschaften. § 7 VOB/A-EU Abs. 1 Nr. 1-3 besagt, dass die Leistung eindeutig und erschöpfend beschrieben werden muss, damit eine einwandfreie Preisermittlung möglich ist und der AN kein ungewöhnliches Wagnis aufgebürdet bekommt, auf das er keinen Einfluss hat. Dieser Paragraph soll das Risiko vom AN nehmen. Andererseits liegt in diesem Wagnis auch ein Potential für den AN. Die Wechselwirkung des Einheitspreisvertrages zwischen den Beteiligten ist stark ausgeprägt. Ein Vorteil des AG wirkt sich als Nachteil für den AN aus und entgegengesetzt genauso [13, S. 3]. Dadurch ist ein deutlicher Zielkonflikt zu erkennen und eine partnerschaftliche Zusammenarbeit erschwert.

5.2 Pauschalpreisvertrag (Detail-Pauschalpreisvertrag und Global-Pauschalpreisvertrag)

Der Pauschalpreisvertrag erfolgt durch die Vergabe von Bauleistungen zu einem Pauschalpreis. Diese Vertragsart soll für öffentliche und quasi-öffentliche Auftraggeber gemäß § 4 Abs. 1 Nr. 2 VOB/A-EU die Ausnahme sein. Sie soll nur dann angewandt werden, wenn bei Vertragsschluss die zu erbringende Leistung nach Ausführungsart und Umfang genau bestimmt ist und mit keinen Änderungen bei der Ausführung zu rechnen ist [10, S. 4]. Die VOB/A-EU geht davon aus, dass bei einem Pauschalpreisvertrag nicht die Leistung – abgesehen vom des AN grundsätzlich zu tragenden Mengenrisikos bei Mengenänderungen, ohne nachträglichen Eingriff des AG in den Leistungsumfang – sondern nur die Vergütung pauschaliert wird. Dies ist eher ein theoretischer Ansatz. Diesem zufolge würden sich weit weniger Probleme bei der Kalkulation und der Ab-

wicklung von Pauschalpreisverträgen ergeben. Unterstützend wirkt § 7c VOB/A-EU, welche an dieser Stelle darlegt, wie eine Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm zu formulieren ist, um Änderungen und damit verbundene Rechtsstreite zu vermeiden. Pauschalpreisverträge lassen sich weitergehend unterscheiden in den Detail-Pauschalpreisvertrag und den Global-Pauschalpreisvertrag, welche nachfolgend kurz charakterisiert werden.

5.2.1 Detail-Pauschalpreisvertrag

Bei einem Detail-Pauschalpreisvertrag sind Vertragsbestandteile, wie das Leistungsverzeichnis, die Pläne und leistungsbeschreibende Größen fixiert und bestimmen den Bauinhalt. Die Baumstände sind analog zum Einheitspreisvertrag und werden mit einem bestimmbar Umfang der auszuführenden Menge vom AN kalkuliert. Der qualitative Bauinhalt ist fixiert, der quantitative Bauinhalt ergibt sich aus Mengenermittlungskriterien nach festgelegten Parametern, die Vergütung ist dabei pauschal. Das Vollständigkeitsrisiko übernimmt der AG und der AN übernimmt das Mengenrisiko [11, S. 70].

5.2.2 Global-Pauschalpreisvertrag

Bei einem Global-Pauschalpreisvertrag ist der primäre Vertragsinhalt das globale Element. Der AN baut gemäß den Angaben der Ausschreibung mit dem Ziel das geschuldete, komplette und funktionsfähige Objekt zu errichten, ohne Rücksicht darauf, ob jedes notwendige Element tatsächlich beschrieben ist. Bei dieser Vertragsart wird lediglich das Leistungsziel bzw. Leistungsprogramm (vgl. § 7 Abs. 1-3 VOB/A-EU) pauschaliert beschrieben. De facto ist das Leistungsziel die angestrebte Funktion z.B. eines Gebäudes, d.h. ein Wohngebäude muss bewohnbar sein. In der VgV wird daher auch von einer „funktionalen Ausschreibung“ gesprochen (siehe § 7c Abs. 2 Nr. 1 VOB/A-EU). Dies führt in der Regel dazu, dass das Erstellen und Ausfüllen des globalen Elementes eine Umgruppierung der Zuständigkeiten benötigt. Diese erfolgt weg vom AG hin zum AN. Der AN wird z.B. die Planungsleistungen übernehmen. Diese Umlagerung der Funktionen und Übertragung von Planungsleistungen bildet das primäre Unterscheidungsmerkmal zwischen Detail-Pauschalpreisvertrag und Global-Pauschalpreisvertrag. Der Global-Pauschalpreisvertrag kann noch weiter in einen einfachen Global-Pauschalpreisvertrag und einen komplexen Global-Pauschalpreisvertrag untergliedert werden [11, S. 70-71]. Im Vergleich zum Detail-Pauschalpreisvertrag trägt der AN beim Global-Pauschalpreisvertrag das Massen- und Vollständigkeitsrisiko alleine [11, S. 71].

5.2.3 Anreize des Pauschalpreisvertrages

Ein „klassischer“ Pauschalpreisvertrag (wenn nur die Menge pauschaliert wird, nicht aber die Leistung) ist „anreizneutral“, weil keine Qualitätskomponente enthalten ist [14, S. 37]. Der Anreiz bei einem Detail-Pauschalpreisvertrag liegt in dem Massen- und Mengenrisiko. Sollten bei einem Detail-Pauschalpreisvertrag weniger Massen oder Mengen anfallen, wird vom AG zu viel für eine geringer erbrachte Leistung bezahlt. Aufgrund des hohen Risikos wird der AN weitere Risikozuschläge in seine Preise einkalkulieren, um die Unbestimmtheit über die Massen oder Mengen kompensieren zu können. Die Spekulationen des AN können nur bedingt unterbunden werden [12, S.

33]. Ein Anreiz liegt auch in dem Unvollständigkeitsrisiko welches der AG übernimmt. Der AN wird versuchen mögliche Chancen zu erkennen und ökonomisch für sich zu nutzen.

Bei einem Global-Pauschalpreisvertrag liegt der Vorteil und damit auch der Anreiz für den AG darin, dass die Leistungen, welche nicht bedacht wurden, jedoch zur Erreichung des Projektes benötigt werden, bereits in der Pauschale inkludiert sind. Der AG hat dadurch eine erhöhte Sicherheit über seine Kosten. Da der AN auch das Risiko für die Unvollständigkeit trägt, wird dieser auch entsprechend höhere Risikozuschläge einkalkulieren. Die Preise werden dadurch höher ausfallen [4, S. 35]. Abschließend lässt sich festhalten, dass Massen- oder Mengenänderungen, die nicht in einer Projektänderung begründet liegen, bei einem Pauschalpreisvertrag, aufgrund des zu tragenden Mengenermittlungsrisikos, nicht zu einer Aktivierung des Anreizes auf Mehrvergütung, durch Änderungsspekulation auf Seiten des AN, führen können. [15, S. 25].

5.3 Stundenlohnvertrag

Ein Stundenlohnvertrag nach § 4 Abs. 2 VOB/A-EU und § 15 VOB/B findet bei öffentlichen und quasi-öffentlichen Auftraggebern dann Anwendung, wenn Bauleistungen geringen Umfangs zu erbringen sind, bei denen überwiegend Lohnkosten anfallen. Der Bauherr schuldet bei dieser Vertragsart die für die Erbringung der Bauleistung anfallenden Lohnkosten und gegebenenfalls die angefallenen Material- und Gerätekosten. Zusätzlich kommt ein Zuschlag für Verwaltungskosten sowie Gewinn hinzu [10, S. 4]. Die Vergütung erfolgt nach aufgewendeter Zeit [11, S. 72].

5.3.1 Anreize des Stundenlohnvertrags

Wie bereits zuvor erwähnt, ist dieser Vertrag eher die Ausnahme bei Bauvorhaben und sollte nur bei geringem Umfang zum Einsatz kommen, z.B. bei Leistungen welche nicht in einer LV-Position berücksichtigt wurden. Der Nachweis der geleisteten Arbeitszeit muss dabei für beide Parteien nachvollziehbar sein. Die Anforderungen der Rechnung ergeben sich aus § 14 Abs. 1 Satz 3 VOB/B, der Nachweis von Art und Umfang der Leistung muss die erforderlichen Belege beinhalten [16, S. 223]. Hier besteht das Risiko des AG, dass die Arbeiten nicht effizient ausgeführt werden und dadurch eine erhöhte Stundenanzahl zustande kommt. Es kann auch vorkommen, dass mehr als tatsächlich benötigte Stunden abgerechnet werden. Für den AN liegt ein Anreiz in dem einkalkulierten Gewinn in den Stunden. Ein weiterer Anreiz für den AN befindet sich in der Möglichkeit, entweder nicht erbrachte Stunden in den Stundennachweis aufzunehmen, oder Mehrstunden zu generieren, um weiteren Gewinn aus den entsprechenden Stunden zu erwirtschaften. Ein zusätzlicher Anreiz ist, die Leistungen auf Regie auszuführen, welche bereits in einer LV-Position enthalten sind. Der „unentdeckte“ Fehler des AG führt zu einem Anreiz für den AN. Für den AG ist dies schwer zu prüfen. Hier kann die vermeintliche Unwissenheit des AG zum Nutzen des AN gemacht werden. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass bei einer vorläufigen Kalkulation, über die benötigten Arbeitsstunden, die durchschnittliche Arbeitszeit angenommen wird. Der AN hat auch

an dieser Stelle den Vorteil des Informationsdefizites des AG.

6 Anreize nach VOB/A-EU und VOB/B

Die VOB/A-EU und VOB/B beinhalten neben den drei zuvor genannten Vertragsarten für die Ausführung von Bauleistungen weitere vertragliche Anreize. Diese Anreize werden für die VOB/A-EU in Tab. 6-1 und für die VOB/B in Tab. 6-2 aufgezeigt. Dabei lassen sich vier Kategorien für Anreize identifizieren:

- Bauzeitbeschleunigung,
- Bauzeitüberschreitung,
- Zahlung und
- Mängel.

In diesen Kategorien werden die Paragraphen, welche eine Anreizwirkung auf den AG als auch auf den AN haben können, aufgezeigt, beschrieben und ausgewertet.

Nr.	Kategorie	Bezeichnung nach VOB/A-EU	Anreiz
1	Bauzeitbeschleunigung	§ 9a Vertragsstrafen, Beschleunigungsvergütung	Malus AN: bei Überschreitung der Vertragsfristen Bonus AN: bei Beschleunigungsvereinbarung

Tab. 6-1 Anreize nach VOB/A-EU

Nr.	Kategorie	Bezeichnung nach VOB/B	Anreiz
2	Bauzeitüber-schreitung	Schadensersatzanspruch und Möglichkeit der Kündigung durch den AG	
2.1		§ 5 Abs. 4 Ausführungsfristen	Malus AN: Schadensersatzanspruch
2.2		§ 11 Abs. 2 Vertragsstrafe	Malus AN: Vertragsstrafe für Verzug

3	Zahlung	Senkung der Kapitalkosten, Verzugszinsen und Einbehalt von Zahlungen	
		§ 16 Abs. 1 Abschlagszahlungen	Bonus AN: Verringerung von Kapitalkosten und Verzugszinsen
		§ 16 Abs. 1 Nr. 2 Einbehalte	Malus AN: erhöhte Kapitalkosten
		§ 16 Abs. 5 Nr. 2 Skontovereinbarung und Verzugszinsen	Bonus AG: „Rabatt“ auf die entstandenen Kosten Malus AG: Verzugszinsen
4	Mängel	Verschweigen von Bau- oder Organisationsfehlern, erhöhter Prüf- bzw. Abnahmeaufwand.	
4.1		§ 12 Abs 3 Verweigerung der Abnahme	Malus AN: Kapitalkosten
4.2		§ 13 Abs. 5 Nr. 2 Ersatzvornahme	Malus AN: zusätzliche Kosten für die Ersatzvornahme
4.3		§ 13 Abs. 6 Minderung	Malus AN: Minderung der Vergütung
4.4		§ 13 Abs. 7 Haftung	Malus AN: Schadensersatzanspruch

Tab. 6-2 Anreize nach VOB/B

6.1 Bauzeitbeschleunigung

§ 9a VOB/A-EU Vertragsstrafen, Beschleunigungsvergütung besagt:

„Vertragsstrafen für die Überschreitung von Vertragsfristen sind nur zu vereinbaren, wenn die Überschreitung erhebliche Nachteile verursachen kann. Die Strafe ist in angemessenen Grenzen zu halten. Beschleunigungsvergütungen (Prämien) sind nur vorzusehen, wenn die Fertigstellung vor Ablauf der Vertragsfristen erhebliche Vorteile bringt.“

Vertragsstrafen weisen eine Malus Regelung für den AN auf. Diese vertragliche Regelung kann dazu führen, dass der AN aufgrund der Höhe der Vertragsstrafe sein Interesse und damit auch den Anreiz am Bauvorhaben verliert. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, bei geringen Überschreitungen der Vertragsfristen keinen zu hohen Malus festzulegen oder auf diesen sogar zu verzichten. Somit kann zumindest ein Anreiz für den AN erhalten bleiben.

§ 9a VOB/A-EU sieht zusätzlich noch eine Beschleunigungsvergütung (Prämie) vor. Diese kann allerdings nur Anwendung finden, wenn die Fertigstellung vor Ablauf der Vertragsfristen erhebliche Vorteile herbeiführt. Das heißt, dass ein wirtschaftlicher Nutzen vorliegt. Diese Prämie bringt beiden Vertragsparteien einen Anreiz. Der AN bekommt neben seiner bestehenden Vergütung einen zusätzlichen Anreiz in Form der Prämie. Diese Prämie führt dazu, dass die Ziele des AG mit denen des AN angeglichen werden. Der AG kann durch die schnellere Fertigstellung zum Beispiel ein Gebäude früher in Betrieb nehmen und dadurch die ersten Renditen erwirtschaften

6.2 Bauzeitüberschreitung

Nach § 5 Abs. 4 VOB/B: *„Verzögert der Auftragnehmer den Beginn der Ausführung, gerät er mit der Vollendung in Verzug, oder kommt er der in Absatz 3 erwähnten Verpflichtung nicht nach, so kann der Auftraggeber bei Aufrechterhaltung des Vertrages Schadensersatz nach § 6 Abs. 6 verlangen oder dem Auftragnehmer eine angemessene Frist zur Vertragserfüllung setzen und erklären, dass er ihm nach fruchtlosem Ablauf der Frist den Auftrag entziehen (§ 8 Abs.3).“*

Nach § 5 Abs. 4 VOB/B hat zunächst der AN den Anreiz, die Ausführung rechtzeitig (nach Vereinbarung) zu beginnen und die nach § 5 Abs. 3 benötigten Ressourcen zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich besteht auch die extrinsische Motivation des AN nicht in Verzug mit dem Fertigstellungstermin zu kommen. Für den AN liegt in diesem Paragraphen nur ein Anreiz in Form eines Malus vor. Der AG kann nach § 6 Abs. 6 bei Aufrechterhaltung des Vertrages einen Malus wirksam machen oder sogar nach § 8 Abs. 3 den Vertrag auflösen. Sollte der AG den § 6 Abs. 6 rechtlich geltend machen, ist ein Rücktritt des AN zu befürchten (vgl. Abschnitt 6.1).

Ein weiterer Paragraph, welcher bei der Bauzeitüberschreitung zum Tragen kommt, ist § 11 Abs. 2. VOB/B:

„Ist die Vertragsstrafe für den Fall vereinbart, dass der Auftragnehmer nicht in der vorgesehenen Frist erfüllt, so wird sie fällig, wenn der Auftragnehmer in Verzug gerät.“

Die Vertragsstrafen sind vereinbart nach §§ 339 bis 345 BGB. Dieser Paragraph hat wie zuvor § 5 Abs. 4 VOB/B nur einen negativen Anreiz für den AN. Denn dieser wird entsprechend der vertraglichen Ausgestaltung einen Malus zahlen müssen.

6.3 Zahlung

§ 16 Abs. 1 VOB/B beinhaltet die Abschlagszahlung. Die Teilzahlung bietet dem AN den Vorteil, seine entstandenen Kosten möglichst schnell durch den AG ausgeglichen zu bekommen. Der AN hat dadurch den Anreiz schnellstmöglich die Gewerke abzuschließen, um zeitnah eine Abschlagsrechnung stellen zu können. Zusätzlich kann der AN seine eigenen entstandenen Kosten schneller decken und muss ggf. keine Verzugszinsen

an seine Zulieferer/Nachunternehmer zahlen. Zudem sind seine Kosten zur Liquiditätssicherung geringer.

§ 16 Abs. 1 Nr. 2 VOB/B sieht Einbehalte vor. Diese Einbehalte kann der AG z.B. durchsetzen, wenn aufgrund nicht ausreichender Qualität ein Mangel vorliegt. Dies führt zu zusätzlichen Kapitalkosten für den AN und ist somit ein Malus für diesen.

§ 16 Abs. 5 Nr. 2 VOB/B sieht eine Skontovereinbarung vor, sofern diese zuvor vereinbart wurde. Dabei räumt der AN dem AG einen Nachlass auf die Kosten (Skonto), bei einer Zahlung in einem von ihm vorgeschriebenen Zeitraum, ein. Der Anreiz liegt auf der Seite des AG. Denn der AG wird motiviert innerhalb kurzer Zeit die Rechnung zu begleichen, um dadurch die Kosten bei sich zu senken.

§ 16 Abs. 5 Nr. 3 besagt, dass wenn der AG nicht bei Fälligkeit zahlt und auch eine Nachfrist ergebnislos blieb dem AN Verzugszinsen zustehen. Die Höhe der Verzugszinsen ist dabei nach § 288 BGB geregelt. Dies führt zu einem Malus für den AG.

6.4 Mängel

§ 12 VOB/B regelt die Abnahme nach der Fertigstellung, gegebenenfalls auch vor Ablauf der vereinbarten Ausführungsfrist. Auf die einzelnen Details und Fristen soll nicht eingegangen werden. Der AN hat das Interesse und damit den Anreiz, dass keine Abnahme stattfindet, denn dann können mögliche Mängel nicht erkannt werden. Der Nachweis darüber, dass es sich anschließend um einen Mangel handelt, ist schwerer aufzuzeigen, als wenn zuvor eine förmliche Abnahme durchgeführt wurde. Nach § 4 Abs. 7 muss der AN Leistungen, welche während der Ausführung schon als mangelhaft oder vertragswidrig erkannt werden, auf eigene Kosten beseitigen. Der AN könnte auch an dieser Stelle sein Eigeninteresse verfolgen und versuchen diese Mängel zu vertuschen. Dies könnte jedoch, bei Erkennung der Verdeckung durch den AG, zu der Entziehung des Auftrags nach § 8 Abs.3 führen.

§ 13 Abs. 5 Satz 2 VOB/B impliziert für den AN einen Malus, wenn dieser in einer Nachfrist nicht die Mängel, auf welche der AG ihn hingewiesen hat, behebt. Der AG kann die Mängel beseitigen lassen und dem AN in Rechnung stellen.

§ 13 Abs. 6 VOB/B beschreibt, wenn die Beseitigung eines Mangels für den AG unzumutbar, unmöglich ist oder sie einen unverhältnismäßig hohen Aufwand erfordern würde, sie deshalb vom AN verweigert werden kann. Der AG darf daraufhin jedoch die Vergütung mindern (§ 638 BGB). Dies führt zu einem Malus für den AN.

§ 13 Abs. 7 VOB/B bearbeitet die Problematik der schuldhaftverursachten Mängel für Schäden, die zu der Verletzung des Körpers oder der Gesundheit führen. Dies kann zu einem Schadensersatz führen. Zusätzlich werden in § 13 Abs. 7 noch weitere Mängelansprüche erläutert.

In § 13 VOB/B lässt sich feststellen, dass der AN immer einen Malus trägt, entweder in Form von Nachbesserungen oder im Rahmen der Vergütungsminderung. Aus diesem Grund hat der AN den Anreiz, mögliche und vielleicht auch bereits bekannte Mängel zu verdecken, um die dadurch entstehenden Kosten zur Mängelbeseitigung umgehen zu können.

6.5 Abschließende Betrachtung der VOB/B

Nach der Betrachtung der aufgeführten Paragraphen der VOB/B ist festzustellen, dass diese nur auf den Ausgleich angemessener Ansprüche einer oder beider Vertragsparteien, bei Störungen der Projektabwicklung, ausgelegt sind. Aus den aufgeführten Bestimmungen ergeben sich rein monetäre Anreize. Gerade der AN muss mit vielen Malussen umgehen [3, S. 26-27]. Ein Bonus, welcher vorliegt, ist die Skontovereinbarung nach § 16 Abs. 5 Nr. 2 für den AG. Für den AN liegt ein Bonus bei der Abschlagszahlung und der damit verbundenen Senkung der Kapitalkosten vor. Dabei ist die Bezifferung der genauen Auswirkung der Kapitalkostensenkung schwer.

7 Schlussbetrachtung

Diese Betrachtung der Anreize in VOB/A-EU und VOB/B ist nicht abschließend. Sie gibt lediglich einen Überblick zu den bestehenden Anreizmechanismen in konventionellen Bauverträgen. Die drei aufgeführten Verträge der VOB/A-EU zeigen, dass Anreize rein spekulativ begründet sind. Dabei kann durch entsprechende Mengen- und Massenspekulationen ein Anreiz für die jeweilige Partei entstehen. Die Wechselwirkung des Einheitspreisvertrages, wobei sich der Vorteil des AG als Nachteil für den AN auswirkt, verhindert zusätzlich eine gemeinschaftliche Projektarbeit. Auch bei den Pauschalpreisverträgen lässt sich feststellen, dass sich tatsächliche Anreize nur bei Projektänderungen, aber nicht durch Massen- oder Mengenänderungen, ergeben. Der Stundenlohnvertrag birgt einen Anreiz für den AN, sofern dieser einen Gewinn erwirtschaften kann. Ein weiterer Anreiz liegt in dem zusätzlichen Gewinn, welchen der AN durch das Informationsdefizit des AG erwirtschaften kann. Eine wirkliche Zielangleichung der beiden Vertragsparteien kann mit keinem der drei Verträge erreicht werden. Auf eine partnerschaftliche Projektarbeit ist lediglich der Bonus, welchen die VOB/A-EU mit der Beschleunigungsvergütung nach § 9a beinhaltet, ausgerichtet. Dieser führt zu einer Zielangleichung beider Parteien. Der AN erhält einen Bonus bei Beschleunigung seiner Maßnahme. Der AG erhält ein schneller abgeschlossenes Bauprojekt, welches schneller in die Nutzung überführt werden kann, was sich wirtschaftlich positiv für ihn auswirkt. Die bürokratische Hürde für diese Prämie nach § 9a VOB/A-EU ist hoch und findet damit nur selten Anwendung. Die VOB/B bietet eine Vielzahl an Vertragsbedingungen. Diese wirken sich jedoch meistens zu Ungunsten des AN aus. Es lässt sich feststellen, dass die VOB/A-EU und VOB/B zwar Anreize beinhalten, diese jedoch nicht zu einer Angleichung der gemeinsamen Ziele führen und somit eine partnerschaftliche Projektzusammenarbeit nicht gefördert wird. Die Verträge und Bedingungen schränken das kooperative Arbeiten ein und die Eigennutzenmaximierung der Projektbeteiligten wird gefördert.

8 Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Reformkommission Bau von Großprojekten - Endbericht: Komplexität beherrschen - kostengerecht, termintreu und effizient“, 2015.
- [2] C. Contag und C. Zanner, Vergaberecht nach Ansprüchen. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014.
- [3] Rauh et al., Organisationsmodelle und vertragliche Anreizsysteme zur Verbesserung der Bauqualität bei der Ausführung schlüsselfertiger Baumaßnahmen: QS-Organisationsmodelle im SF-Bau ; Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2014.
- [4] E. Eyer und T. Haussmann, Zielvereinbarung und variable Vergütung. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2018.
- [5] E. Göbel, Neue Institutionenökonomik: Konzeption und betriebswirtschaftliche Anwendungen. Stuttgart: Lucius & Lucius, 2002.
- [6] J. Zimmermann und B. Nohe, „Ziele von Bauherren und Bauunternehmen sind im Grundsatz unterschiedlich“, München. [Online]. Verfügbar unter: https://kipdf.com/12-ziele-von-bauherren-und-bauunternehmen-sind-im-grundsatz-unterschiedlich_5aca02ca1723dd30d89ab745.html. Zugriff am: 15. 4 22.
- [7] J. Zimmermann, „Bauprozessmanagement“, München, unbekannt. [Online]. Verfügbar unter: <https://docplayer.org/68184982-Bauprozessmanagement-univ-prof-dr-ing-josef-zimmermann-1-prozessorientierte-planung-und-bauausfuehrung.html>. Zugriff am: 15. April 2022.
- [8] N. Simon, „Entwicklung eines Prämiensystems zur Berücksichtigung der Bauprozessqualität in Bauverträgen“. Dissertation, Universität Kassel; Kassel University Press GmbH, Kassel.
- [9] T. Beckers, J. Gehrt und J. P. Klatt, Leistungs-, Vergütungs- und Finanzierungsanpassungen bei PPP-Projekten im Hochbau. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl., 2009.
- [10] E. Leimböck, U. R. Klaus und O. Hölckermann, Baukalkulation und Projektcontrolling. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015.
- [11] G. Girmscheid, Projektabwicklung in der Bauwirtschaft – prozessorientiert. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016.
- [12] W. Breyer, A. Boldt und S. Haghsheno, „Alternative Vertragsmodelle zum Einheitspreisvertrag für die Vergabe von Bauleistungen durch die öffentliche Hand“, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bbbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/3Rahmenbedingungen/2017/vertragsmodelle/01-start.html>. Zugriff am: 1. April 2022.
- [13] C. Flemming, Modifikation der Vergütungsform beim Einheitspreisvertrag. Zugl.: Dresden, Techn. Univ., Fak. Bauingenieurwesen, Diss., 2012. Renningen: Expert-Verl., 2012.
- [14] K. Thomas, „Fairer Umgang mit Verträgen und Vertragsrisiken: Kommunikation und Patrizipation von Planungsbeteiligten am Beispiel aktueller Straßeninfrastruktur-Großvorhaben in Österreich“, Mit-einander statt Gegeneinander“, Fachzeitschrift für Baumanagement und Bauwirtschaft, S. 36–40, 2012. [Online]. Verfügbar unter: https://www.stempkowski.at/wp-content/uploads/2015/05/NWB16_Kurz_Fairer-Umgang-mit-Vertr%C3%A4gen-Vertragsrisiken.pdf
- [15] P. Schwerdtner, „Kooperationspflichten der Vertragsparteien aus baubetrieblicher Sicht.“ in 44, Streitvermeidung und Streitbeilegung: etablierte Verfahren und neue Wege: Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 23. Februar 2007, Wanninger, Hg., Braunschweig, 2007, S. 19–55.
- [16] O. Schoofs, Das Recht des Corporate Real Estate Managements. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.

Integrierte Projektabwicklung – Identifikation von Herausforderungen bei der Konzeption eines phasen- und prinzipiengerechten Vergütungsmodells

Philipp Beidersandwisch,¹ Maximilian Rolf-Dieter Budau²

¹ Technische Universität Berlin, Institut für Bauingenieurwesen, Fachgebiet für Bauwirtschaft und Baubetrieb, p.beidersandwisch@tu-berlin.de

² Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, maximilian.budau@kit.edu

Kurzfassung

Trotz positiver konjunktureller Entwicklungen klagen viele Bauherren über gravierende Kostensteigerungen. Eine Verschärfung, die durch den evidenten Antagonismus der Vertragsparteien begünstigt bzw. begründet wird und schlussendlich vielfach zu Konflikten führt. Es ist somit nicht verwunderlich, dass Politik und Bauwirtschaft gemeinsam nach Ansätzen suchen, die eine störungsresiliente, termingerechte, kostenstabile und somit konfliktärmere Projektabwicklung ermöglichen. Ein Ansatz, der dies verspricht, ist die sogenannte „Integrierte Projektabwicklung“ (IPA).

Die IPA betrachtet die Sicherstellung des Gesamterfolgs als übergeordnetes Ziel der Projektabwicklung. Um dies mit Hilfe der Prinzipien und Strategien der IPA zu gewährleisten, sind sowohl im Zuge der Modellkonzeption als auch im Vorfeld der Projektabwicklung zahlreiche Herausforderungen zu meistern und damit verbundene Fragestellungen zu beantworten. Dies betrifft vor allem jene Fragestellungen, die sich auf die Konzeption des Vergütungsmodells beziehen. Auf die Identifikation der fundamentalen Fragestellungen wird im Rahmen dieses Artikels eingegangen. Hierzu wird zunächst auf aktuelle Herausforderungen der Bauwirtschaft eingegangen, bevor die Prinzipien und Phasen der IPA vorgestellt werden und auf die Ergebnisse der Untersuchungen im Überblick und Detail eingegangen wird.

Die Ausführungen im Rahmen dieser Analyse zeigen, dass IPA momentane Herausforderungen und Defizite der konventionellen Projektabwicklung lösen kann. Eine erfolgreiche Abwicklung mithilfe von IPA-Modellen erfordert jedoch eine projektspezifische Lösung der identifizierten Fragestellungen.

Schlagwörter: Integrierte Projektabwicklung, Zielpreisvertrag, Vergütungsmodell

Inhaltsverzeichnis

1	Aktuelle Herausforderungen bei der Abwicklung von „komplexen“ Bauprojekten	32
1.1	Ausgangssituation	32
1.2	Herausforderungen und Defizite bei der Realisierung komplexer Projekte	32
1.3	Lösungsansätze zur Abwicklung komplexer Projekte	33
2	Prinzipien und Phasen der Integrierten Projektabwicklung	34
3	Identifikation von Herausforderungen bei der Konzeption eines phasen- und prinzipiengerechten IPA-Vergütungsmodells	37
3.1	Zielstellung	37
3.2	Methodik	38
3.3	Darstellung der identifizierten Herausforderungen	39
4	Detaillierte Betrachtung der identifizierten Herausforderungen	39
4.1	Vorbemerkungen	39
4.2	Phase 0 – Projektvorbereitung	41
4.3	Phase 1 – Integrierte Projektplanung (Planungsphase)	41
4.4	Phase 2 – Integrale Bauausführung (Ausführungsphase)	43
5	Zusammenfassung und Schlussbetrachtung	43
6	Literaturverzeichnis	44

1 Aktuelle Herausforderungen bei der Abwicklung von „komplexen“ Bauprojekten

1.1 Ausgangssituation

Obwohl die deutsche Bauwirtschaft nach Jahren der großen Rezession zwischen 1995 und 2005 prosperiert, die Konjunkturentwicklung in den vergangenen Jahren durchweg positiv war und die Auftragsbestände und -reichweiten der Bauunternehmen ungeahnte Höchstwerte erreicht haben [1, S. 7, 2, S. 62, 3, S. 1], klagen viele Bauherren über gravierende Kostensteigerungen. Eine Verschärfung, die nicht nur durch den evidenten Antagonismus der Vertragsparteien begünstigt, sondern auch begründet wird [4, S. 669].

Trotz des ungebrochenen Aufschwungs sehen sich die Vertragsparteien in der Projekt- abwicklung mit zum Teil unüberwindbaren Differenzen konfrontiert, die eine Schmä- lering des Projekterfolgs zur Folge haben und somit eine Aufzehrung der Gewinne be- wirken können; Zerwürfnisse, die sich während des langen Herstellungsprozesses eines Bauwerks einstellen und eine Brutstätte für opportunistische Verhaltensweisen sind [5, S. 9].

Dieses Phänomen betrifft ausdrücklich Projekte der öffentlichen Hand. So kam das ehe- mals zuständige Ministerium für den deutschen Bundeshochbau (BMUB) im Rahmen einer internen Untersuchung von 300 Projekten aus den Jahren 2000 bis 2015 zu der Erkenntnis, dass der vorgegebene Kostenrahmen bei mehr als 40 % der Bauvorhaben deutlich überschritten wurde [6, S. 4]. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam der Bundes- rechnungshof (BRH) bereits im Jahr 2001. In einer Untersuchung von 5.840 Bauauf- trägen im Bundesfernstraßenbereich mit einem Gesamtauftragsvolumen von ca. 3 Mrd. € stellte der BRH fest, dass nur 25 % der Aufträge innerhalb des zuvor festgelegten Kostenrahmens abgewickelt wurden [7, S. 7 ff.].

1.2 Herausforderungen und Defizite bei der Realisierung komplexer Pro- jekte

Auch wenn es sicherlich ein Einfaches wäre, die zuvor beschriebenen Kostensteigerun- gen mit der durchaus zu beklagenden Unsitte politisch „geschönter“, respektive irre- führender Kostenermittlungen zu begründen [8, S. 15], sind Kostenüberschreitungen weder ein Problem der jüngeren Marktpreisentwicklung noch Auswuchs besonderer Risiken komplexer Megaprojekte [4, S. 697]. Da sie nicht ausschließlich konjunktur- unabhängig und in sämtlichen Sparten des öffentlichen Bauens auftreten, sondern auch bei einem signifikanten Anteil von Projekten mittlerer Größe und mittlerer Komplexi- tät zu beobachten sind, muss betont werden, dass es mehrere Ursachen gibt, die für die eklatanten Kostensteigerungen öffentlicher Bauvorhaben verantwortlich sind [4, S. 697]. Neben strukturellen Defiziten in der Kostenplanung und des Kostenmanage- ments identifizierten GRALLA [9, S. 2] und SUNDERMEIER ET AL. [5, S. 10] insbesondere die folgenden Ursachen:

- fehlerhafte bzw. unzureichende Bedarfsanalysen,
- fehlerhafte bzw. unzureichende Quantifizierungen der Risiken,
- fehlende bzw. unzureichende Prozessintegration der Projektbeteiligten,
- fehlender bzw. unzureichender Wille zu Kooperation
- (nur gering ausgeprägte partnerschaftliche Zusammenarbeit),
- unzureichende Nutzung alternativer Konfliktlösungsmechanismen.

Auffällig ist hierbei, dass eine Vielzahl der Konflikte auf eine ungenügende Einschätzung und Quantifizierung der bautechnologischen und baubetrieblichen Risiken sowie Fehlinterpretation oder anders ausgedrückt, einer falschen Auslegung des obligatorischen Bausolls zurückzuführen sind. Auseinandersetzungen über den Vertragspreis und das geschuldete Bausoll sind daher ein wesentlicher Treiber von Leistungsstörungen und Kostenerhöhungen. So gehören Änderungen der Bedarfsplanung neben einer unvollständigen Bausolldefinition zu den am häufigsten genannten Fehlern. Dies bestätigten auch die Auswertungen der Bundesrechnungshofberichte [5, S. 10]. Bauverfahrenstechnische Streitsachen, wie z.B. Mängel, spielen hingegen lediglich eine untergeordnete Rolle [10, S. 563].

1.3 Lösungsansätze zur Abwicklung komplexer Projekte

Weil die Projektabwicklung komplexer Bauvorhaben mithilfe von klassischen und neoklassischen Vertragsansätzen, die auf dem althergebrachten „do-ut-des“-Prinzip beruhen, an der fehlenden Möglichkeit einer vollumfassenden Beschreibung des vertraglichen Leistungskanons und der damit einhergehenden Haupt- und Nebenpflichten scheitert [5, S. 12, 11], stellen vor allem komplexe Bauvorhaben besondere Anforderungen an den Bauherren und seine Vertragspartner, um die erhöhte Komplexität sowohl in der Planung als auch in der Ausführung beherrschbar zu machen [12, S. 63 ff.].

Es ist somit nicht verwunderlich, dass Politik und Bauwirtschaft schon seit geraumer Zeit gemeinsam nach Ansätzen suchen, die zum einen eine störungsresiliente, termingerechte und kostenstabile Projektabwicklung ermöglichen und so die Partikularinteressen harmonisieren sowie Zielkonflikte abbauen und zum anderen die Qualität der Zusammenarbeit verbessern, sodass die Produktivität über alle Projektphasen hinweg gesteigert wird [5, S. 12 ff., 13, S. 80, 14].

Die Suche nach neuen, partnerschaftlichen Ansätzen, die ein gemeinschaftliches Projektverständnis schaffen sollen, mündete schließlich in der Formulierung von Modulen partnerschaftlicher Zusammenarbeit, die die „Reformkommission Bau von Großprojekten“ mit ihrem Abschlussbericht 2015 veröffentlicht hatte [7].

Ein partnerschaftlicher Ansatz, auf den nicht nur die Reformkommission, sondern auch andere Initiativen und das Skriptum explizit hingewiesen haben, ist die sogenannte „Integrierte Projektabwicklung“ (IPA), unter deren Dach sich Begriffe wie „Project Alliancing“ [15, S. 69, 16, 17, S. 13] und „Integrated Project Delivery“ (IPD) subsumieren [18, 19, S. 1, 20, S. 1].

2 Prinzipien und Phasen der Integrierten Projektabwicklung

Der Begriff „Integrierte Projektabwicklung“ hat sich erst in den vergangenen Jahren als Oberbegriff für spezielle Projektabwicklungsmodelle, -formen bzw. Beschaffungsmodelle etabliert. Zu diesen Projektabwicklungsmodellen zählen insbesondere Ansätze aus dem Ausland wie das sogenannte „Project Alliancing“ (PA). Die Ursprünge des PA gehen gemäß LAHDENPERÄ [21, S. 58] auf die Erdölbranche in den 1990er Jahre zurück. Die Erdölbranche nutzte Ansätze zur erfolgsbasierten Vergütung und Risikoteilung, um risikobehaftete Offshore-Projekte erfolgreich zu realisieren. Erste Erfolge bei der Anwendung dieser Ansätze führten zu einer Einführung und zunehmenden Anwendung dieser Ansätze im australischen Baumarkt, insbesondere im Infrastrukturbereich. [17, S. 13 ff.]

Parallel zur ersten Anwendung von PA entwickelte MOSEY [22, 23] als Reaktion auf einen Trend der sinkenden Qualität bei der Umsetzung von Baumaßnahmen und der steigenden Anzahl von Insolvenzverfahren im Bauwesen in Großbritannien, den sogenannten PPC2000. Der PPC2000 soll explizit die Kooperation in Bauprojekten stärken und wird daher von der britischen Regierung ausdrücklich empfohlen.

Ein weiterer Ansatz, neben dem PA, der sich ebenfalls der IPA zuordnen lässt, ist das in Nordamerika vermehrt für komplexe Hochbauprojekte zur Anwendung kommende integrierte Projektabwicklungsmodell IPD. Erstmals fand IPD Anfang der 2000er Jahre Erwähnung [21, S. 58]. So wurden unter diesem Begriff von dem US-amerikanischen Unternehmen „Westbrook“ und seinen Kooperationspartnern sämtliche Ansätze zusammengefasst, die in ihren Bauprojekten zur Steigerung der Koordination, der Kooperation, der Innovation und der Gesamtoptimierung beitrugen. Die Ansätze waren nötig, um insbesondere die Zwänge klassischer Vertragsstrukturen aufzulösen [24, S. 46]. Vor einer ähnlichen Herausforderung stand Anfang der 2000er Jahre der kalifornische Krankenhausbetreiber „Sutter Health“. Aufgrund der wirtschaftlichen Entwicklungen mussten die komplexen Bauprojekte des medizinischen Sektors zu Beginn der 2000er Jahre unter erheblichen ökonomischen Druck (Heidemann 2011) realisiert werden [25, S. 47 ff.]. Um diesem Druck standzuhalten, wählte „Sutter Health“ einen alternativen Ansatz, der sich ebenfalls dem Modell IPD zuordnen ließ. „Sutter Health“ profitierte hierbei u.a. von eigenen Erfahrungen, die man bei der Anwendung der „Lean Management Philosophie“ gesammelt hatte und die zum damaligen Zeitpunkt in der Bauwirtschaft Kaliforniens vermehrt zum Einsatz kam.

In Deutschland werden Projektabwicklungsmodelle, die sich dem Oberbegriff der IPA zuordnen lassen, seit dem Jahr 2018 im Rahmen von Pilotprojekten erprobt. Um den Erfahrungsaustausch zu unterstützen und einheitliche Standards und Hilfsmittel für die Praxis zu etablieren, wurde in den Folgejahren ein Kompetenzzentrum für IPA, das sog. IPA-Zentrum, gegründet [13, S. 82].

Die aufgezeigte Entwicklung belegt, dass in der Vergangenheit zahlreiche Ansätze mit zum Teil sehr unterschiedlichen Bezeichnungen zur Abwicklung von Bauprojekten unter dem Oberbegriff IPA zur Anwendung kamen. Auch in der Literatur wurden bereits

zahlreiche Modelle zur Strukturierung dieser Ansätze entwickelt, um eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Beschaffungsmodellen zu schaffen.

So identifizierten SUNDERMEIER ET AL. [14, S. 6] im Rahmen ihres Kooperationsprojekts „Partnerschaftsmodell Schiene“ (PM Schiene) mit der Deutschen Bahn und dem Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. beispielsweise fünf Bausteine als Herzstück der IPA, durch die Kernelemente partnerschaftlicher Projektabwicklung, wie sie u.a. von der „Reformkommission Bau von Großprojekten“ oder der Initiative „Reform Bundesbau“ gefordert wurden, sichergestellt werden.



Abb. 2-1: Bausteine des „Partnerschaftsmodells Schiene“ [14, S. 6]

Das IPA-Zentrum sowie das KIT entwickelten vergleichbare Ansätze, die in der folgenden Abb. 2-2 gegenübergestellt werden.

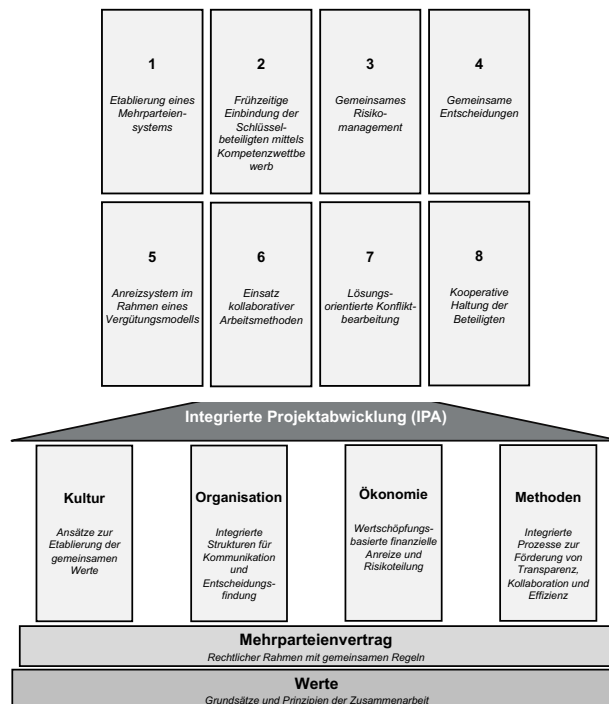


Abb. 2-2: Strukturierungsansätze der Integrierten Projektabwicklung (oben: [26]; unten: [12])

Die vorgestellten Strukturierungsansätze zeigen zum Teil deutliche Unterschiede bezogen auf einzelne Formulierungen, sodass sich keine herrschende Meinung zur genauen Strukturierung feststellen lässt. Gleichwohl lassen die vorgestellten Strukturierungsansätze ein gemeinsames Verständnis im Hinblick auf den Grundgedanken bzw. die Prinzipien erkennen, die mithilfe der in den jeweiligen Strukturierungsansätzen genannten Bausteine umgesetzt werden sollen (siehe Abb. 2-2).

Ein wesentliches modellbestimmendes Prinzip, das die obigen Ansätze erkennen lassen, ist das Prinzip der „Integration“. Integration erfolgt hier in mehrfacher Hinsicht. Zum einen werden beispielsweise die Partner früh in das Projekt integriert, zum anderen werden Aspekte der Aufbauorganisation, wie Zuständigkeiten im Rahmen der Entscheidungsfindung, integriert. Inwiefern auch ökonomische Aspekte integriert werden, ist anhand der obigen Strukturierungsansätze nicht erkennbar. Die Begriffe „Anreizsystem“ und „Vergütung nach Projekterfolg“ lassen vermuten, dass zumindest die „Harmonisierung der Partikularinteressen“ ein Prinzip der „Integrierten Projektabwicklung“ darstellt.

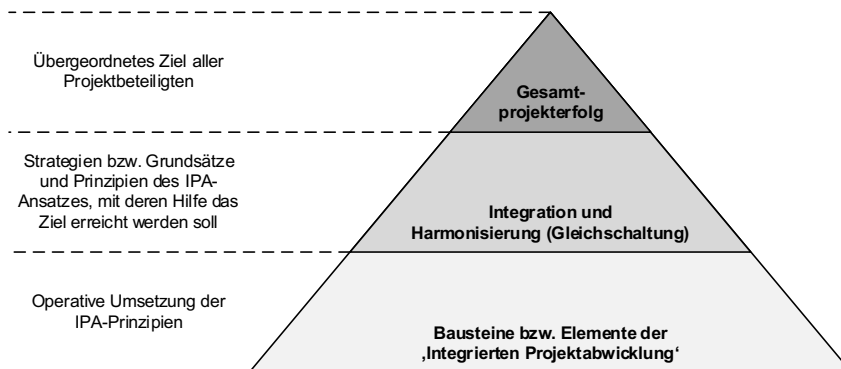


Abb. 2-3: Einordnung der Begriffe Baustein und Prinzip im Hinblick auf „Integrierte Projektabwicklung“

Eine weitere grundlegende Gemeinsamkeit, die sich in den vorgestellten Strukturierungsansätzen erkennen lässt bzw. die daraus abgeleitet werden kann, ist die Art und Weise der projektphasenbezogenen Gliederung eines Projektes.

In der folgenden Abb. 3-4 werden hierzu beispielhaft zwei Ansätze gegenübergestellt. Die Gegenüberstellung zeigt, dass eine Gemeinsamkeit beider Ansätze darin besteht, dass sie Projekte im Wesentlichen in eine Planungs- sowie Ausführungsphase gliedern. Der Planungsphase kann eine weitere Phase, auch Phase 0 bzw. Projektvorbereitung genannt, vorangestellt sein.

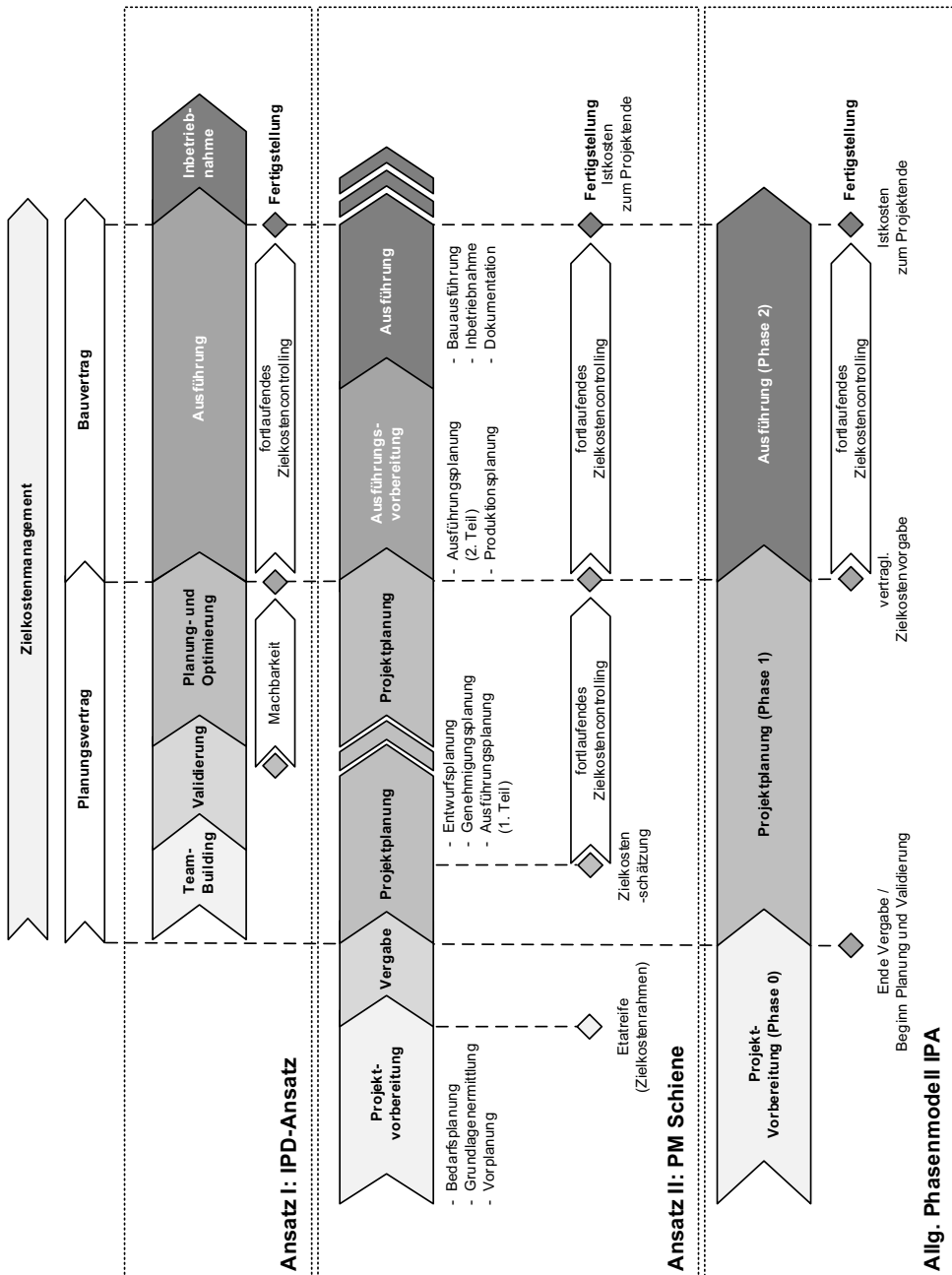


Abb. 2-4: Phasenmodelle der IPA, basierend auf [13, S. 85, 14, S. 6]

3 Identifikation von Herausforderungen bei der Konzeption eines phasen- und prinzipiengerechten IPA-Vergütungsmodells

3.1 Zielstellung

Im Gegensatz zu klassischen Austauschgütern, die überwiegend für den anonymen Massenmarkt in industrieller Serien- oder Massenfertigung produziert werden und bei denen es sich vorrangig um einfache Konsum- und Investitionsgüter handelt [27, S. 172], zeichnen sich Bauleistungen besonders häufig durch eine hohe Kunden- und Faktorspezifität und eine starke Leistungsverflechtung der Vertragsparteien aus, die die Leistungsabwicklung regelmäßig zu einem schwierigen Unterfangen machen [28, S. 108]. Da zum Vertragsschluss häufig nur ein von Vertrauenseigenschaften dominierendes Leistungsversprechen vorliegt [28, S. 115, 29, S. 14], dessen Erfüllung auf die von Imponderabilien geprägte Zukunft gerichtet ist, scheitert die Abwicklung komplexer Groß- und Megaprojekte häufig an den systemimmanenten Defiziten klassischer Vergabe- und Vertragsstrategien, wie die Autoren im Kapitel 1.2 betont haben. Obwohl die Nachteile klassischer Austauschverträge im Skriptum seit jeher bekannt sind, fußt die Abwicklung solcher Projekte auch heute noch auf den altbekannten Mustern [4].

Einen Ausweg aus dem Tal der gescheiterten Bauprojekte zeigt das in Kapitel 1.3 und 2 vorgestellte IPA-Modell auf. Ihre konstituierenden Prinzipien nebst den zugehörigen Werkzeugen ermöglichen nicht nur eine Harmonisierung und Gleichschaltung der Partikularinteressen, sondern auch eine Auflösung der Zielkonflikte und Sicherstellung des Gesamterfolgs. Denn naturgemäß kollidieren die Interessen des „Auftragnehmers“ (AN) mit den Zielen des „Auftraggebers“ (AG). Es treffen beispielsweise in der Bauprojektabwicklung Minimierungsstrategien des AN auf die Maximierungsstrategien des AG [30, S. 15].

Um jedoch das übergeordnete Ziel der Sicherstellung des Gesamterfolgs mit Hilfe der Prinzipien und Strategien (siehe Kapitel 2) zu gewährleisten und die zugehörigen Werkzeuge hierfür adäquat und an die Projektspezifika angepasst, einzusetzen, sind sowohl im Zuge der Modelkonzeption als auch im Vorfeld der Projektabwicklung zahlreiche Herausforderungen zu meistern und damit verbundene Fragestellungen zu beantworten. Dies betrifft vor allem jene Fragestellungen, die sich auf die Konzeption des Vergütungsmodells, sprich des Zielkostenvertrages und seiner Bausteine nebst dem integrierten Anreiz- und Haftungssystem beziehen; Bausteine, mit denen die „Harmonisierung der Partikularinteressen“ sichergestellt werden soll. Auf die Identifikation der fundamentalen Fragestellungen, deren Beantwortung für die Erreichung der Teil- und des Oberziels erforderlich sind, konzentrieren sich die Autoren im Rahmen dieser Untersuchung.

3.2 Methodik

Zur Beantwortung der obigen Fragestellung bietet sich insbesondere die Methodik der „Fallstudie“ (engl. Case Study) an. Im Rahmen einer Fallstudie erfolgt die Untersuchung anhand eines genau definierten „Falles“, der in den übergeordneten Sachverhalt einzuordnen ist [31, S. 1513]. In der vorliegenden Untersuchung erfolgt dies anhand von IPA-Pilotprojekten. Diese Pilotprojekte wurden in den vergangenen Jahren in Deutschland initiiert. Kontakte zu diesen Projekten sowie weitere Forschungsprojekte wurden dazu genutzt, um die zur Beantwortung der Forschungsfrage erforderlichen Informationen zu sammeln. Aus Vertraulichkeitsgründen können keine konkreten Angaben zu den Pilotprojekten gemacht werden.

Vorteile von Fallstudien sind die Erlangung objektiver Daten über den zugrundeliegenden Sachverhalt und die Möglichkeit der Anwendung unterschiedlicher Methoden zur Gewinnung detaillierter Daten über den Fall [32, S. 224]. Im vorliegenden Fall kamen insbesondere Interviews und die Sichtung von Projektdokumenten zum Einsatz. Die ausgewählten Fallstudien stellen typische Vertreter der IPA dar. Es ist somit eine gewisse Objektivität vorhanden. Subjektivität bzw. Fehler bei der Auswahl der Fallstudien lassen sich nicht gänzlich ausschließen [31, S. 1518] und stellen daher eine Schwäche der gewählten Methodik dar.

Die Identifikation der gesuchten Herausforderungen erfolgte gegliedert nach den in Kapitel 2 vorgestellten Phasen der IPA. Die Liste der identifizierten Herausforderungen ist nicht abschließend. Eine Validierung mithilfe der einschlägigen Literatur zeigt jedoch, dass die im Folgenden vorgestellten Herausforderungen zumindest gemäß der Literatur noch nicht abschließend gelöst sind.

3.3 Darstellung der identifizierten Herausforderungen

Im Zuge der Analyse der Fallstudien wurden zahlreiche Herausforderungen identifiziert. Die identifizierten Herausforderungen lassen sich übergeordneten Teilzielen unterordnen. Diese Teilziele sind in der folgenden Abb. 3-1 vereinfacht dargestellt. Die eigentlichen Herausforderungen wurden als Fragestellungen formuliert. Im folgenden Kapitel werden diese vorgestellt.

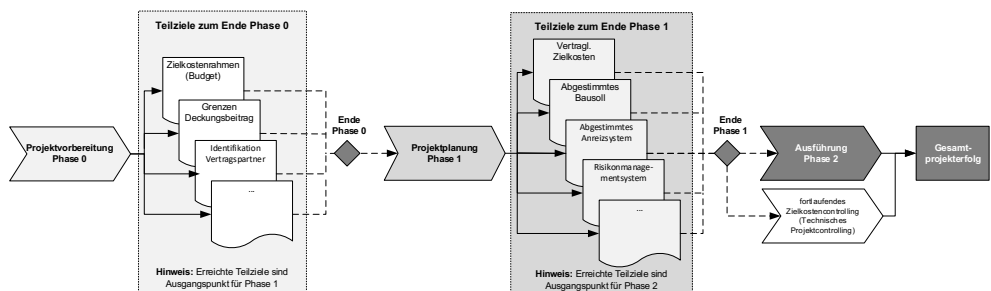


Abb. 3-1: Teilziele je Projektphase

4 Detaillierte Betrachtung der identifizierten Herausforderungen

4.1 Vorbemerkungen

Um nicht nur die in Kapitel 3.3 beschriebenen Teilziele zu erreichen, sondern auch den Gesamterfolg, wie in Abb. 3-1 dargestellt, zu garantieren, müssen die Bausteine gepaart mit den Leitmotiven des Zielkostenmodells unterschiedliche Herausforderungen in den einzelnen Phasen meistern.

Neben dem üblichen Leitmotiv der Selbstkostenerstattung setzen sich IPA-Vergütungsmodelle regelmäßig aus den folgenden Bausteinen zusammen [4, S. 708]:

- **Baustein A:** Zielkostenvorgabe
- **Baustein B:** Korridor für Zielkostenabweichung
- **Baustein C:** Aufteilungsregelungen für Mehr-/Minderkosten
- **Baustein D:** Kostenregelungen außerhalb des Korridors

Die vertragliche Zielkostenvorgabe (**Baustein A**) von IPA-Modellen leitet sich gewöhnlich aus den für das Gesamtprojekt festgelegten Zielkosten ab [4, S. 708 ff.]. Diese ergeben sich entweder aus Höhe der zunächst geschätzten und im Verlauf der Phase 1 validierten Investitionskosten oder den zur Verfügung stehenden finanziellen Budgets und Mittel des AG, welche für die Bauwerkserrichtung aufgewendet werden sollen. Insofern fungieren die Zielkosten nicht nur als Maßstab, sondern auch als Messlatte zur Bewertung des finanziellen Projekterfolgs bzw. Projektmisserfolgs [33, S. 501 ff.]. Darüber hinaus vereinbaren die Parteien gewöhnlich einen Zielkostenkorridor (**Baustein B**). Der Zielkostenkorridor definiert nicht nur die wirtschaftliche Obergrenze für das Mittragen von Zielkostenüberschreitungen, sondern auch die zugehörige Untergrenze, bis zu der die Optimierungen zwischen den Vertragsparteien aufgeteilt werden [4, S. 711, 34, S. 202]. Er ist Bestandteil des Risiko- und Anreizsystems des Vergütungsmodells.

Neben diesem Korridor erfordert die überparteiliche Erfolgshaftung Aufteilungsregeln für etwaige Mehr- und Minderkosten (**Baustein C**). Durch den vertraglich fixierten Aufteilungsschlüssel beteiligen sich die Vertragsparteien innerhalb des festgelegten Korridors an den jeweiligen Kostenüber- und Kostenunterschreitungen [4, S. 712 ff.].

Neben der Festlegung einer verbindlichen Zielkostenvorgabe, der Vereinbarung einer Erfolgs- und Misserfolgsbeteiligung sowie des hierfür erforderlichen Kostenkorridors nebst zugehörigen Aufteilungsschlüssel, zeichnen sich Zielkostenverträge überdies durch einen weiteren Baustein aus: der Kostenregelungen außerhalb des Kostenkorridors (**Baustein D**) für Unter- und Überschreitungen [4, S. 716 ff.].

Im Gegensatz zu vielen konventionellen Ansätzen der Kostenplanung und -steuerung beruht das Vergütungsmodell der IPA auf dem Prinzip des „Target Value Designs“ (TVD) und entwickelt, kontrolliert und steuert die Zielkosten projektbegleitend bzw. fortlaufend. Daher ergeben sich mit Blick auf die Bausteine des Vergütungsmodells je

Projektphase unterschiedliche Fragestellungen und Herausforderungen, die die Projektbeteiligten einzelnen oder gemeinsam lösen müssen (vgl. hierzu die schematische Darstellung in Abb. 4-1). Die einzelnen Fragestellungen werden in den nachfolgenden Kapiteln 4.2 bis 4.4 kurz erläutert.

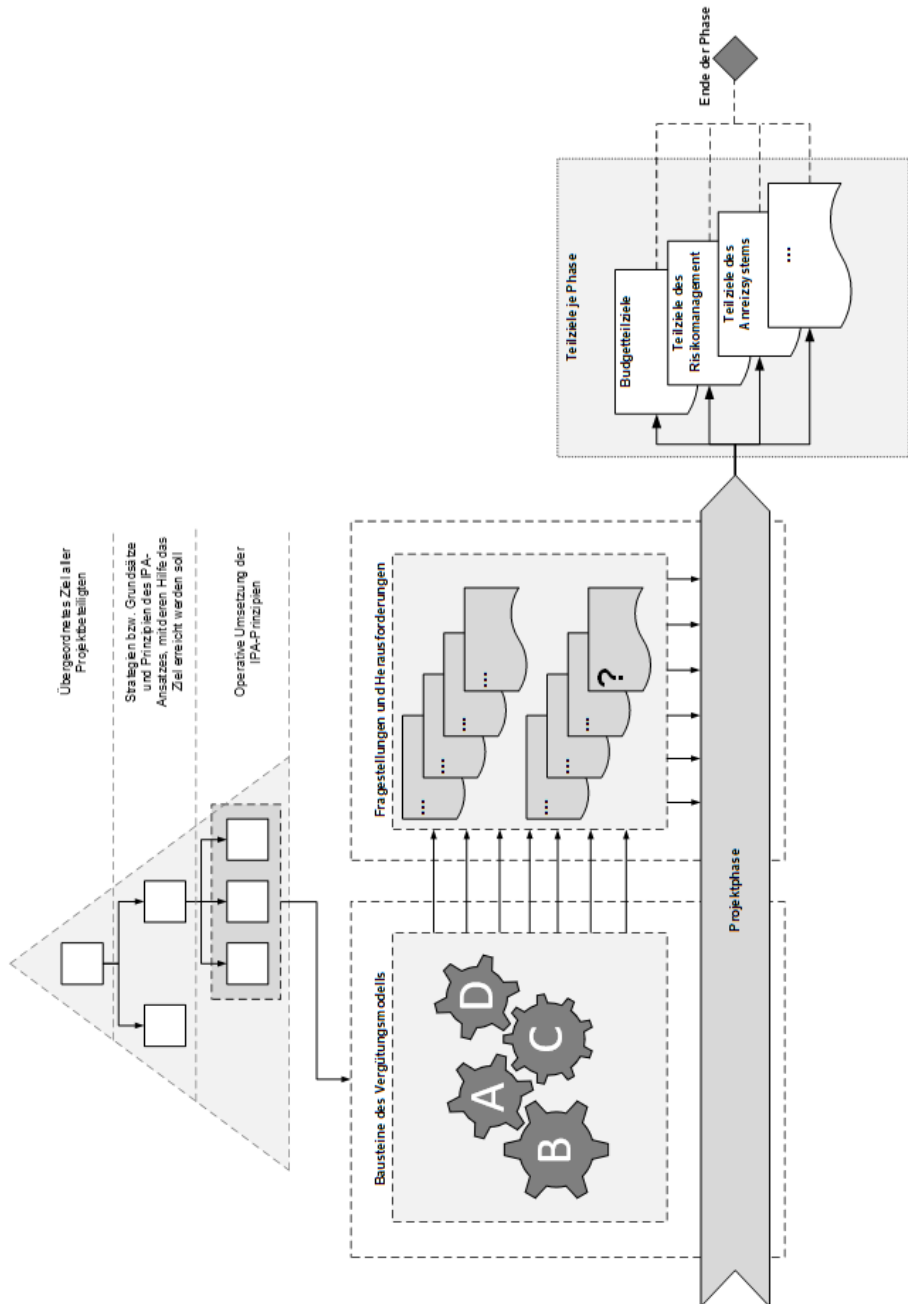


Abb. 4-1: Schematische Darstellung der Herausforderungen und Fragestellung je Phase

4.2 Phase 0 – Projektvorbereitung

In der Projektvorbereitungsphase (Phase 0) (siehe Abb. 3-6) erfolgt zunächst neben einer gründlichen Bedarfsplanung auch eine sorgfältige Grundlagenermittlung und Vorplanung. Ziel der Phase 0 ist nicht nur die Festlegung der technischen und wirtschaftlichen Eckdaten sowie der konkreten Bedarfsanforderungen für das Projekt, sondern auch die Auswahl geeigneter und leistungsfähiger Partner für den Aufbau des interdisziplinären Projektteams für die weitere Planung (Phase 1) und Ausführung (Phase 2) der Baumaßnahme. Die Auswahl und Vergabe erfolgt üblicherweise mithilfe eines Teilnahme- und Kompetenzwettbewerbs. Die Phase 0 endet in der Regel mit dem Vertragsschluss zwischen dem Vorhabenträger und den ausgewählten Partnern für die weitere Projektplanung [4, S. 701]. Mit Blick auf den zu entwickelnden Zielkostenrahmen muss der Vorhabenträger in der Phase 0 folgende Fragestellungen lösen, die sich zu Teil auch aus dem Vergabeprozess ergeben und in die Zielkostenentwicklung miteinfließen:

Teilziele und Aufgaben	Potentielle Fragestellungen und Herausforderungen
Budget	<ul style="list-style-type: none">• Wie entwickelt der Bauherr das Zielpreisbudget innerhalb der Phase 0?• Welche Bestandteile hat das Zielpreisbudget?• Wonach richtet sich die Gliederung des Zielpreisbudgets?• Wie können klassische bautechnische und baubetriebliche Risiken im Zielpreisbudget ausgewiesen werden?• Wird bei der Risikoausweisung zwischen AG- und AN-seitigen Risiken bei der Zielpreisbudgetbildung differenziert?• Wie und in welcher Höhe erfolgt die Finanzierung der Rückstellungen für ein KPI-orientiertes Anreizsystem (KPI-Budget)?• Wie sieht der Entscheidungsprozess zur Definition der KPI in Phase 1 aus?• Wie berücksichtigen wir adäquate Deckungsbeiträge im Zielpreisbudget?
Grenzen Deckungsbeitrag	<ul style="list-style-type: none">• Wie sind die Grenzen für den Deckungs- und Risikobeitrag der Vertragspartner festzulegen? Woran bemessen sich diese Grenzen?• Wann sind die Bestandteile des Deckungsbeitrages zu definieren?• Wie wirkt sich die Marktmacht potentieller Partner auf die Grenzen der Deckungsbeiträge aus?• Wie wirkt sich die Geschäftsausstattung (Bereitschaftskosten) auf die Grenzen des Risikobeitrags aus?
Identifikation erfolgskritischer Gewerke	<ul style="list-style-type: none">• Welche Wertschöpfungspartner sind relevant für die IPA und wie ist entsprechend die Projektstruktur zu wählen?• Wonach richtet sich die Auswahl der Partner?

Tab. 4-1: Teilziele und Fragestellungen in Phase 0 der IPA

4.3 Phase 1 – Integrierte Projektplanung (Planungsphase)

In der Phase 1 erfolgt nicht nur die gemeinsame Planung des Bauvorhabens, sondern auch die Validierung des zuvor durch den Vorhabenträger entwickelten Zielkostenrah-

mens. Dadurch, dass IPA-Modelle regelmäßig auf eine integrale Projektabwicklung setzen und frühzeitig die maßgeblichen Wertschöpfungspartner in den Planungsprozess einbinden, machen IPA-Modelle das untermeerische bautechnische und baubetriebliche Wissen nutzbar. Ziel der Phase 1 ist zum einen die Entwicklung einer gesamtheitlichen, lebenszyklusoptimierten Projektplanung, die eine hinreichend belastbare Zielkostenprognose ermöglicht, und zum anderen die Festsetzung der belastbaren Zielkostenprognose als vertragliche Zielkostenvorgabe für relevante Schlüsselgewerke. Die Phase 1 endet nach erfolgreicher Planung und Zielkostenermittlung mit dem Vertragschluss für die Ausführungsphase (Phase 2) [4, S. 702, 14, S. 10 ff.].

In der Phase 1 haben die Vertragsparteien mit Blick auf die Bausteine des Vergütungsmodells die folgenden Fragestellungen zu lösen:

Teilziele und Aufgaben	Potentielle Fragestellungen und Herausforderungen
Zielkosten	<ul style="list-style-type: none"> • Wie erfolgt die Plausibilisierung des Zielpreisbudgets? • Wie wird die Wirtschaftlichkeit der Zielkosten Ende der Phase 1 nachgewiesen? • Wie wird das Zielpreisbudget in Teilbudgets aufgegliedert? • Welche Detailierungsebenen und Kostenstrukturen sind für die Zielkosten notwendig? • Bis wann erfolgt die Zielkostenbestimmung budget- (top-down) und ab wann LV-basiert? • Wie geht man mit Optimierungen in der Planungsphase um? • Wie werden Risiken in die Zielkosten integriert und insbesondere Preissteigerungen berücksichtigt? • Wie erfolgt die Vergütung der Beratungsleistungen der Bauausführenden während der Phase 1? • Wie erfolgt die Vergütung der Planer während der Phase 1? • Was sind „Erstattbare Kosten“? • Wie werden die Mengengerüste aufgemessen? • Wonach berechnen sich die Einstandspreise der „Erstattbaren Kosten“? • Welche Vorgaben gelten für die Kalkulationen, Abrechnung und Nachweis einzelner Kostenarten? • Wer und wie preist Nachunternehmerleistungen ein? • Wie, durch wen und wann werden KPI gemessen?
Leistungsplanung	<ul style="list-style-type: none"> • Wie ist die Bauleistung zu definieren bzw. zu beschreiben? • Wie ist der Detailterminplan zu definieren und mit dem Zielpreis zu verknüpfen? • Wie ergibt sich aus der Leistungsplanung ein Mittelabflussplan? • Wann werden die Leistungen aufgemessen (welche Intervalle)?

Anreizsystem	<ul style="list-style-type: none"> • Welches Aufteilungsverhältnis für Mehr- oder Minderkosten, • Termin- und Qualitätsziele in Phase 2 sind grundsätzlich möglich? • Wonach bemisst sich das Aufteilungsverhältnis für Mehr- oder Minderkosten, Termin- und Qualitätsziele in Phase 2? • Welche Kosten sind in welcher Höhe Teil des Anreizsystems? • Wie, wann und in welcher Höhe sind in Phase 1 und 2 Teile des Deckungsbeitrages auszuschütten? • Wie kann der Fertigstellungsgrad abgesichert werden? • Welche Kosten sind zum Zeitpunkt der Zielpreisfixierung zu pauschalieren und welche Anreizwirkung ergibt sich daraus? • Wie ist das Anreizsystem an das Risikomanagementsystem (Haftung) zu koppeln?
Risikomanagementsystem	<ul style="list-style-type: none"> • Wie werden Risiken erfasst? • Wie werden Risiken im Zielpreis berücksichtigt? • Wie werden Risiken verfolgt? • Wie wird die Risikoverwirklichung abgesichert?

Tab. 4-2: Teilziele und Fragestellungen in Phase 1 der IPA

4.4 Phase 2 – Integrale Bauausführung (Ausführungsphase)

Nach erfolgter Planung schließen sich die wesentlichen Wertschöpfungsphase zu einem Projektteam zusammen, das nicht nur die Bauausführung, sondern auch das Projektcontrolling in gemeinsamer Regie übernimmt. Ziel der Phase 2 ist die Erreichung der in Phase 1 gemeinsam abgestimmten Kosten-, Termin- und Qualitätsziele. Für die Kostenziele bedeutet dies zudem, dass die Vertragsparteien in Phase 2 auf ein effektives und mit adäquaten Werkzeugen ausgestattetes Zielkostencontrolling zurückgreifen können. Die Konzeption eben jenes Zielkostencontrollings wirft dabei die folgenden Fragen auf, die das Projektteam im Vorfeld zu klären hat:

Teilziele und Aufgaben	Potentielle Fragestellungen und Herausforderungen
Controlling	<p>Wie werden Kosten erfasst und die Kostenprognose fortgeschrieben (Ist-Soll-Soll'-wird)?</p> <p>Welche Informationen sind dafür erforderlich und woher kommen diese?</p> <p>Welche Entscheidungsprozesse müssen bei erkennbarer, potentieller Zielverfehlung initiiert werden?</p>

Tab. 4-3: Teilziele und Fragestellungen in Phase 2 der IPA

5 Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Trotz positiver konjunktureller Entwicklungen klagen viele Bauherren über gravierende Kostensteigerungen. Eine Verschärfung, die nicht nur durch den evidenten Antagonismus der Vertragsparteien begünstigt, sondern auch begründet wird und schlussendlich vielfach zu Konflikten führt. Es ist somit nicht verwunderlich, dass Politik und Bauwirtschaft schon seit geraumer Zeit gemeinsam nach Ansätzen suchen, die eine störungsresiliente, termingerechte, kostenstabile und somit konfliktärmere Projektabwicklung ermöglichen. Ein Ansatz, der dies verspricht, ist die sogenannte IPA.

Die IPA betrachtet den Projekterfolg aller wesentlichen Projektbeteiligten als übergeordnetes Ziel der Projektabwicklung. Um dies zu gewährleisten, ist die Projektabwicklung insbesondere an zwei Prinzipien auszurichten. Dies ist zum einen das Prinzip der „Integration“. Integration erfolgt hier in mehrfacher Hinsicht. Zum einen werden beispielsweise die Partner früh in das Projekt integriert, zum anderen werden Aspekte der Aufbauorganisation, wie Zuständigkeiten im Rahmen der Entscheidungsfindung, integriert. Zum anderen kann die „Harmonisierung der Partikularinteressen“ als ein Prinzip der IPA betrachtet werden.

Um das übergeordnete Ziel der Sicherstellung des Gesamterfolgs mit Hilfe der Prinzipien und Strategien zu gewährleisten, sind sowohl im Zuge der Modelkonzeption als auch im Vorfeld der Projektabwicklung zahlreiche Herausforderungen zu meistern und damit verbundene Fragestellungen zu beantworten. Dies betrifft vor allem jene Fragestellungen, die sich auf die Konzeption des Vergütungsmodells, sprich des Zielkostenvertrages und seiner Bausteine nebst dem integrierten Anreiz- und Haftungssystem beziehen. Auf die Identifikation der fundamentalen Fragestellungen, deren Beantwortung für die Erreichung der Teil- und des Oberziels erforderlich sind, wurde im Rahmen dieses Artikels eingegangen. Die identifizierten Fragestellungen wurden sogenannten Teilzielen zugeordnet. Diese Teilziele müssen zum Abschluss der einzelnen IPA-Phasen erreicht werden.

Die Ausführungen im Rahmen dieser Analyse zeigen, dass IPA momentane Herausforderungen und Defizite der konventionellen Projektabwicklung lösen kann. Eine erfolgreiche Abwicklung mithilfe von IPA-Modellen erfordert jedoch eine projektspezifische Lösung der identifizierten Fragestellungen. Die Analyse der Fallstudien hat gezeigt, dass diese Fragestellungen im Zuge der Fallstudien zwar identifiziert wurden, in der Literatur jedoch noch keine allgemeine Empfehlung gefunden wurde bzw. kein Leitfaden zur Lösung dieser Herausforderungen existiert.

6 Literaturverzeichnis

[1] Statistisches Bundesamt, „Bauhauptgewerbe, Ausbaugewerbe: Lange Reihen“, 2019.

[2] Statistisches Bundesamt, „Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft“, 2019.

[3]Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V., „Baukonjunkturelle Lage: Wachstum 2019 weiter auf hohem Niveau“, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bauindustrie.de/fileadmin/bauindustrie.de/Zahlen_Fakten/Pressemitteilung/Baukonjunktur_Juni_19_letzte_Fassung_GB_0wroSqX.pdf. Zugriff am: 28. März 2022.

[4]M. Sundermeier und P. Beidersandwich, „Zielkostenmanagement und Zielkostenverträge für komplexe Bauvorhaben“ in *Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht*, C. Hofstadler, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019, S. 695–727, doi: 10.1007/978-3-658-27431-3_48.

[5]M. Sundermeier, P. Beidersandwich, T. Höcker, A. Zeller, J. Hensel und S. Penn, „Rollenentwicklung des Bauprojektmanagements: Zukunftsperspektive“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dvpev.org/sites/default/files/sonstige%20Publikationen/DVP_Rollenentwicklung%20des%20Bauprojektmanagements%20%E2%80%93%20Zukunftsperspektiven_fin.pdf. Zugriff am: 28. März 2022.

[6]Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, „Reform Bundesbau: Besondere Kosten-, Termin- und Qualitätssicherheit bei Bundesbauten“, 2016. [Online]. Verfügbar unter: http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/reform_bundesbau_broschuere_bf.pdf. Zugriff am: 21. April 2018.

[7]Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Reformkommission Bau von Großprojekten: Komplexität beherrschen - kostengerecht, termintreu und effizient“. Endbericht, 2015. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/reformkommission-bau-grossprojekte-endbericht.pdf?__blob=publicationFile. Zugriff am: 24. März 2018.

[8]B. Flyvbjerg, M. K. Skamris und S. Buhl, „Kostenunterschätzung bei öffentlichen bauprojekten: fehler oder lüge?“, *Planungsgrundschau: Theorie, Forschung, Praxis*, S. 15–34, 2003.

[9]M. Gralla, „Integrierte Projektprozesse und Mehrparteienverträge: Was kommt auf die Projektsteuerung zu?“. Köln, 17. Mai 2019.

[10]M. Sundermeier und C. Schlenke, „Projektallianzen für Großbauvorhaben: lediglich „noch ein Partnerschaftsmodell“ oder Paradigmenwechsel der Vertragsgestaltung?“, *Bautechnik*, Jg. 87, Nr. 9, S. 562–571, 2010.

[11]K. Eschenbruch, „Der relationale Bauvertrag – ein neues Paradigma für die Bauvertragsgestaltung?“, *Baurecht*, Nr. 9, S. 1323–1329, 2021.

[12]S. Haghsheeno, C. Baier, M. R.-D. Budau, A. Schilling Miguel, P. Talmon und L. Frantz, „Strukturierungsansatz für das Modell der Integrierten Projektabwicklung (IPA)“, *Bauingenieur*, Jg. 97, Nr. 03, S. 63–76, 2022, doi: 10.37544/0005-6650-2022-03-47.

[13]S. Haghsheeno, C. Baier, A. Schilling Miguel, P. Talmon und M. R.-D. Budau, „Integrated Project Delivery (IPD): Ein neues Projektabwicklungsmodell für komplexe Bauvorhaben“, *Bauwirtschaft*, Jg. 5, Nr. 2, S. 80–93, 2020.

[14]M. Sundermeier, P. Beidersandwich, H. Kleinwächter und T. Rehfeld, „Kurzbericht zum Kooperationsprojekt, Partnerschaftliche Projektabwicklung für die Schienenverkehrsinfrastruktur“, Technische Universität Berlin; Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.; Deutsche Bahn, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bau.tu-berlin.de/fileadmin/a3631/pdf/Partnerschaftsmodell_Schiene_-_Kurzbericht__TU_Berlin_.pdf. Zugriff am: 28. März 2022.

[15]M. W. Sakal, „Project Alliancing: A Relational Contracting Mechanism for Dynamic Projects“, *Lean Construction Journal*, Nr. 2, S. 67–79, 2005. [Online]. Verfügbar unter: https://www.leanconstruction.org/media/docs/ktll-add-read/Project_Alliancing_A_Relational_Contracting_Mechanism_For_Dynamic_Projects.pdf

- [16]M. Sundermeier und C. Schlenke, „Allianzverträge: Paradigmenwechsel für die Vertragsgestaltung komplexer Großprojekte im Hoch-, Ingenieur- und Infrastrukturbau“ in *Jahrbuch Baurecht 2012: Aktuelles, Grundsätzliches, Zukünftiges*, K. Kapellmann und K. Vygen, Hg., Werner, 2011, S. 167–214.
- [17]C. Schlabach, *Untersuchungen zum Transfer der australischen Projektabwicklungsform Project Alliancing auf den deutschen Hochbaumarkt*. Kassel: Kassel Univ. Press, 2013.
- [18]S. Haghsheeno, „Initiative TeamBuilding“, *Bauingenieur*, Jg. 93, A3 Editorial, 2018.
- [19]H. Goldberg, „The newest of the new AIAs Integrated Project Delivery agreements“, 2010. [Online]. Verfügbar unter: <https://content.aia.org/sites/default/files/2017-02/AIA%20Integrated%20Project%20Delivery%20Agreements.pdf>. Zugriff am: 28. März 2022.
- [20]K. Ballobin, „New Standard Contracts for Integrated Project Delivery: An Analysis of Structure, Risk, and Insurance“, Victor O. Schinnerer & Company, Inc., 2008. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.nspe.org/sites/default/files/resources/pdfs/Licensure/Resources/MFLResearchFellowshipIPDReport.pdf>. Zugriff am: 21. April 2018.
- [21]P. Lahdenperä, „Making sense of the multi-party contractual arrangements of project partnering, project alliancing and integrated project delivery“, *Construction Management and Economics*, Jg. 30, S. 57–79, 2012.
- [22]D. Mosey, *Early contractor involvement in building procurement: Contracts, partnering and project management*. Chichester, U.K: Wiley- Blackwell, 2009.
- [23]D. Mosey, W. Breyer, S. Leupertz und A. Boldt, „PPC Deutschland: Einführung in PPC und FAC-1“, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.reguvis.de/fileadmin/BIV-Portal/Dokumente/ppc-fac.pdf>. Zugriff am: 24. April 2020.
- [24]O. Matthews und G. A. Howell, „Integrated Project Delivery An Example of Relational Contracting“, *Lean Construction Journal*, Nr. 2, S. 46–61, 2005. [Online]. Verfügbar unter: https://www.leanconstruction.org/media/docs/lcj/V2_N1/LCJ_05_003.pdf
- [25]A. Heidemann, *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*. [s.l.]: KIT Scientific Publishing, 2011.
- [26]IPA-Zentrum, *Integrierte Projektabwicklung (IPA): Charakteristika und konstitutive Modellbestandteile*. [Online]. Verfügbar unter: <https://ipa-zentrum.de/> (Zugriff am: 28. Februar 2022).
- [27]W. Plinke, „Investitionsgütermarketing“, *Marketing ZFP*, Jg. 13, Nr. 3, S. 172–177, 1991, doi: 10.15358/0344-1369-1991-3-172.
- [28]M. Sundermeier, „Gestaltungsvorschläge einer ‚Neuen Vertragsordnung‘ für Bauleistungen: eine ingenieurökonomische Analyse des VOB/B-Bauvertragsrechts“. Dissertation, Technische Universität Dortmund, Dortmund, 2009. [Online]. Verfügbar unter: <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/32995/1/Dissertation.pdf>
- [29]K. P. Kaas, *Marketing und neue Institutionenlehre*. Univ., Lehrstuhl für BWL, insbes. Marketing, 1992. Frankfurt am Main: Selbstverlag, 1992.
- [30]C. Schade und E. Schott, *Kontraktgüter als Objekte eines informationsökonomisch orientierten Marketing: Arbeitspapiere des Lehrstuhls für Marketing*. Frankfurt am Main: Selbstverlag, 1991.
- [31]A. Bennett, „Case Study: Methods and Analysis“ in *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, Elsevier, 2001, S. 1513–1519, doi: 10.1016/b0-08-043076-7/00751-8.

- [32]G. R. Jennings, „Business, Social Science Methods Used in“ in *Encyclopedia of Social Measurement*, Elsevier, 2005, S. 219–230, doi: 10.1016/b0-12-369398-5/00270-x.
- [33]D. W. M. Chan, A. P. C. Chan, P. T. I. Lam und J. M. W. Wong, „Empirical Study of the Risks and Difficulties in Implementing Guaranteed Maximum Price and Target Cost Contracts in Construction“, *Journal of Construction Engineering and Management*, Jg. 136, Nr. 5, S. 495–507, 2010, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000153.
- [34]J. Perry und M. Barnes, „Target cost contracts: an analysis of the interplay between fee, target, share and price“, *Engineering, Construction and Architectural Management*, Jg. 7, Nr. 2, S. 202–208, 2000, doi: 10.1108/eb021145.

Bauprojektmanagement mit Hilfe digitaler Modelle: Baukostenplanung in frühen Projektphasen

Sara Bender ¹, Christian Stoy ²

¹ Universität Stuttgart, sara.bender@bauoek.uni-stuttgart.de

² Universität Stuttgart, christian.stoy@bauoek.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Bauprojektmanagement ist der Schlüssel zu einem wirtschaftlichen und ressourceneffizienten Projekterfolg und unterstützt Projektbeteiligte bereits in frühen Projektphasen in strategischen Projektentscheidungen. Insbesondere für Kosten und Termine sind digitale Bauwerksmodelle innerhalb von Building-Information-Modeling gestützten Projekten ein Zugewinn. Mit dem Fokus auf modellbasierter Kostenplanung kommt es aber in den Abläufen immer wieder zu Prozessschwierigkeiten. Um deren Ursachen zu ermitteln, wird der gesamte Kostenplanungsprozess anhand von Expertenbefragungen beleuchtet. Die Befragungen werden anschließend mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass softwarebasierte Barrieren bestehen, zu denen ungenügende softwareneutrale Austauschformate und schnittstellenübergreifende Softwarelösungen zählen. Weiterhin sind datenbasierte Barrieren zu nennen, die durch fehlenden Informationsaustausch zwischen den Beteiligten und fehlende Standardisierungen der Modellinhalte entstehen. Daraus resultiert eine mangelnde Datenqualität im Kostenplanungsprozess. Diese Studie dient der Einordnung und Verbesserung des modellbasierten Kostenplanungsprozesses in modellbasierten Bauprojekten. Sie zeigt Ursachen für Barrieren und Unterbrechungen auf und daraus folgend können Empfehlungen zu deren Vermeidung und für eine bessere Prozessqualität abgeleitet werden.

Schlagwörter: Bauprojektmanagement, Modellbasierte Kostenermittlung, Building Information Modeling

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	52
1.1	Ausgangslage	52
1.2	Zielsetzung.....	52
1.3	Stand der Forschung.....	53
2	Vorgehensweise und Methoden	55
2.1	Aufbau und Herleitung Fragebogen.....	56
2.2	Expertenbefragung	57
2.2.1	Personenauswahl zur Befragung	57
2.2.2	Ablauf Expertenbefragung	57
2.2.3	Pilotrunde.....	57
2.2.4	Transkription	57
2.3	Qualitative Inhaltsanalyse.....	58
2.3.1	Ablauf.....	58
2.3.2	Kategorienbildung und Kodierleitfaden	59
3	Diskussion.....	61
4	Ausblick.....	62
5	Literatur	63

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Als Schlüssel zu erfolgreichem Bauprojektmanagement gilt grundlegend die Einhaltung von Kosten-, Termin- und Qualitätszielen. [1, S. 288] Die Projektplanung stellt dabei einen sich immer wiederholenden Prozess dar, in dem Beteiligte Lösungsansätze entwickeln, überprüfen und überarbeiten bis ein optimales Projektkonzept entsteht. Der häufig im Zusammenhang mit Bauprojektmanagement verwendete Begriff ‚BIM‘ steht für Building Information Modeling oder Bauwerksinformationsmodellierung [2, S. Art 3.3.14] und ist die Grundlage für modellbasiertes Arbeiten im Bauprojektmanagement, bei dem digitale Bauwerksmodelle als zentrale Informationsquelle genutzt werden [3, S. 17]. *„Die Nutzung eines BIM-Modells als zentrale Informations- und Wissensquelle bzw. Datenbank, über den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie, stellt den wesentlichen Unterschied zu einer konventionellen Projektabwicklung dar.“* [4, S. 361] Da die Kostenermittlung einen wesentlichen Beitrag zur Messung des Projekterfolgs leistet, wird diese in der vorliegenden Forschungsarbeit im Rahmen des Bauprojektmanagements beleuchtet. Dabei wird insbesondere die Kostenermittlung unter Zuhilfenahme von digitalen Methoden, die sogenannte modellbasierte Kostenermittlung, in den Fokus gestellt. *„Die eingebettete Kostenplanung wird kontinuierlich und systematisch über alle Leistungsphasen durchgeführt und stellt durch fortlaufendes Ermitteln, Kontrollieren und Steuern sicher, dass die Kostensicherheit eines Bauprojekts gewährleistet ist.“* [5, S. 70]

Im Rahmen der BIM-Methode kann die Kostenermittlung bereits in frühen Projektphasen sehr gut integriert werden, da die Kostenermittlung aufgrund der noch fehlenden Ausführungsinformationen in frühen Projektphasen eher elementorientiert als ausführungsorientiert ausgerichtet ist. Innerhalb des elementorientierten Ansatzes werden geometrische und bautechnische Inhalte in den digitalen Bauwerksmodellen voneinander abgegrenzt berücksichtigt, was eine nachvollziehbare Kostenermittlung in frühen Projektphasen möglich macht. [6, S. 137 f.]

1.2 Zielsetzung

Durch die Erhöhung des Digitalisierungsgrads in Bauprojekten und im Bauprojektmanagement steigt die Komplexität der Arbeitsprozesse und die Bedeutung des Informationsaustauschs zwischen den Beteiligten an. Der Wechsel von konventioneller zu modellbasierter Kostenermittlung ist Teil dieses Prozesses. In der aktuellen Entwicklung finden sich diverse Prozessschwierigkeiten im Ablauf. Dazu zählen unter anderem nicht ausreichend definierte Informationsanforderungen an das digitale Bauwerksmodell [7, S. 417], mangelnde Softwarekompatibilität, mangelnde Standards zum Datengehalt der digitalen Bauwerksmodelle [8, S. 383] und auch eine fehlende Prozessablaufstruktur [9, S. 7].

Ziel der vorliegenden Ausarbeitung ist es, die Prozessschwierigkeiten sowie deren Ursachen zu identifizieren. Dies soll als Unterstützung für einen vergleichbaren, strukturierten Gesamtprozessablauf der Kostenermittlung innerhalb modellbasierter Bauprojekte dienen.

1.3 Stand der Forschung

Um die Aktualität der Forschung und deren Einbindung in die modellbasierte Entwicklung von Bauprojekten zu gewährleisten, ist es sinnvoll den Forschungsstand von Projektmanagement mit BIM und auch der konventionellen und modellbasierten Kostenermittlung abzubilden.

Autor/Herausgeber (Jahr)	Erscheinungs- ort	Titel	Inhaltliche Relevanz
Bahnert et al. (2021)	Deutschland	Planungsleistungen und Honorare mit BIM	Modellbasierte Projekte und HOAI, Planungsabläufe
Ekung et al. (2021)	Nigeria	Critical Risks to Construction Cost Estimation	Risikofaktoren Kostenermittlung
Kalusche (2021)	Deutschland	BKI Handbuch Kostenplanung im Hochbau	Grundlagen / Verfahren Kostenplanung
Kuzminykh et al. (2021)	UK	4D and 5D Design Processes Automation Using Databases, Classification and Applied Programming	Kostenmodell, automatisierte Kostenausgabe, Kodierungen
Leśniak (2021)	Polen	Barriers to BIM Implementation in Architecture, Construction, and Engineering Projects – The Polish Study	Barrieren bei der Implementierung von BIM
Li et al. (2021)	China	Utilization of BIM in the Construction of a Submarine Tunnel: A Case Study in Xiamen City, China	Anwendung und Prüfung des digitalen Bauwerksmodells
Nguyen et al. (2021)	Vietnam	A Case Study of BIM Application in a Public Construction Project Management Unit in Vietnam: Lessons Learned and Organizational Changes	Implementierung BIM und Projektmanagement, Einfluss BIM auf Projektmanagement

Sbiti et al. (2021)	Frankreich	Toward BIM and LPS Data Integration for Lean Site Project Management: A State-of-the-Art Review and Recommendations	Projektmanagement und BIM, aktuelle Entwicklungen
Siemon et al. (2021)	Deutschland	Baukostenplanung und -steuerung – bei Neu- und Umbauten	Vorgaben zur Kostenermittlung, Projektbeteiligte
Ying et al. (2021)	China	Research on Project Management Computer System Based on BIM	Einsatz Computer basierter Projektmanagementsysteme
Aitbayeva, Hossain (2020)	Kasachstan	Building Information Model (BIM) Implementation in Perspective of Kazakhstan: Opportunities and Barriers	Barrieren bei der Implementierung von BIM
Farooq et al. (2020)	Pakistan	Investigating BIM Implementation Barriers and Issues in Pakistan Using ISM Approach	Barrieren bei der Implementierung von BIM
Muratova, Ptukhina (2020)	Russland	BIM as an Instrument of a Conceptual Project Cost Estimation	Modellbasierter Kostenermittlungsprozess
Yao et al. (2020)	China	Barriers of 5D BIM Implementation in Prefabrication Construction of Buildings	Barrieren der Implementierung modellbasierter Kostenplanung
Clark, Alzraiee (2019)	USA	A Framework For Cost Estimation Using BIM Object Parameters	Strukturierung des digitalen Bauwerksmodells
Hasan, Rasheed (2019)	Irak	The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry	Barrieren der Implementierung modellbasierter Kostenplanung
Mayouf et al. (2019)	UK	5D BIM: an investigation into the integration of quantity surveyors within the BIM process	Modellbasierte Mengenermittlung
Khan et al. (2018)	Indien	Evaluating Benefits of Building Information Modelling (BIM) Using A 5D Model for Construction Project	Vorteile modellbasierter Kostenplanung
Ramírez-Sáenz et al. (2018)	Kolumbien	Requirements for a BIM execution plan (BEP): a proposal for application in Colombia	Informationsgehalt des digitalen Bauwerksmodells

Kovacic et al. (2014)	Österreich	Assessment of BIM Potentials in Interdisciplinary Planning through Student Experiment and Practical Case Study	Interdisziplinäres Planen bei modellbasierten Projekten
Stanley, Thurnell (2014)	Neuseeland	The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand	Barrieren der Implementierung modellbasierter Kostenplanung
Seifert, Preussner (2013)	Deutschland	Baukostenplanung - Kostenermittlungen, Kostenkontrollen, Kostensteuerung, Haftung bei der Kostenplanung	Kostenermittlungsstufen, Kostenermittlung, Kostenkennwerte, Prozessablauf
Stoy et al. (2012)	Deutschland	A concept for developing construction element cost models for German residential building projects	Kostenermittlung, Baukostenelemente
Eastman et al. (2011)	USA	BIM handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors	Grundlagen modellbasierten Arbeitens

Tab. 1-1: Aktueller Forschungsstand

2 Vorgehensweise und Methoden

Die vorliegende Forschung beschäftigt sich mit der Ermittlung von Prozessschwierigkeiten der modellbasierte Kostenermittlung als Aufgabe des Projektmanagements. Die Forschung soll die Fragestellung hinsichtlich des Auftretens von Prozessschwierigkeiten und Prozessbarrieren sowie deren Ursachen beleuchten. Um dies zu ermöglichen, wird ein Fragebogen für Expertenbefragungen verwendet. Der Fragebogen basiert auf einer Literaturrecherche und wird zunächst in einer Pilotrunde getestet. Er enthält in einem ersten Teil Fragen zur Fachexpertise der Teilnehmenden und in einem zweiten Teil werden fachspezifische Fragen, darunter offene und geschlossene Fragen, zu Herausforderungen der modellbasierten Kostenermittlung sowie zu Prozessschwierigkeiten gestellt. Mit dem Fragebogen als Gesprächsleitfaden wird die Expertenbefragung durchgeführt, bei der die Personen mit Fachexpertise die geschlossenen Fragen sowie die offenen Fragen mit Raum zu Konkretisierungen beantworten. Die Ergebnisse werden mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Dabei wird ein Kategoriensystem gebildet, dass die spezifischen Prozessschwierigkeiten und Prozessbarrieren eruiert.

2.1 Aufbau und Herleitung Fragebogen

In der Expertenbefragung werden Akteuren in Deutschland und der Schweiz befragt, um zu ermitteln welche Prozessschwierigkeiten im Kostenermittlungsprozess vorhanden sind. Der Fragebogen basiert auf den in einer Literaturrecherche ermittelten Inhalten und Bestandteilen modellbasierten Projektmanagements und Kostenermittlung.

Der ermittelte Fragebogen, der gleichzeitig als Gesprächsleitfaden fungiert, enthält offene und geschlossene Fragen. Er gliedert sich in Teil A (3 Fragen zur Tätigkeit der befragten Experten und Expertinnen) und Teil B (15 fachspezifische Fragen). Zu Beginn werden den Personen mit Fachexpertise Fragen zu ihrer fachlichen Qualifikation und zur beruflichen Tätigkeit sowie offenen Fragen zur Abgrenzung des Expertenwissens im gewählten Forschungsfeld gestellt. Teil B des Fragebogens beginnt mit (halb)offenen Fragen zu Gründen für die Anwendung modellbasierter Kostenermittlung und deren Herausforderungen. Hier werden erste Prozessschwierigkeiten identifiziert. Die darauffolgenden Fragen dienen zur Präzisierung bei der Beantwortung der Forschungsfrage. Die nachfolgenden Fragen sind die Kernfragen zu Beantwortung der Forschungsfrage nach Prozessschwierigkeiten:

- Was sind die Herausforderungen bei der modellbasierten Kostenplanung?
Es werden die Herausforderungen, die aus der Literatur ermittelt wurden, aufgezählt und überprüft:
 - Mehraufwand
 - Kommunikation
 - Informationsbeschaffung [10, S. 545]
 - Datenstrukturen/-verwaltung [7, S. 417]
 - normierte Mengenermittlung [8, S. 109]
 - geeignete Werkzeuge
 - Innovationsbereitschaft der Mitarbeiter [7, S. 414]

Die befragten Personen bewerten diese Aussagen gemäß ihrer Fachexpertise mit „1 = weniger wichtig“, „3 = durchschnittlich wichtig“ oder „5 = sehr wichtig“.

- Welche Probleme/Prozesslücken bestehen aktuell?
- Welche Grundlagen sind bei BIM-basierten Bauprojekten notwendig, um eine effektive modellbasierte Kostenplanung zu gewährleisten?

Am Ende des Fragebogens haben die Teilnehmenden die Möglichkeit eigene Ergänzungen und Rückmeldungen zur Vollständigkeit und Präzision des Fragebogens anzugeben.

2.2 Expertenbefragung

2.2.1 Personenauswahl zur Befragung

Die ausgewählten Personen nehmen aufgrund ihrer Praxiserfahrung im Bauprojektmanagement allgemein und spezifisch in der modellbasierten Kostenermittlung teil.

Es nehmen 9 Personen aus Deutschland und der Schweiz teil, die einen Tätigkeitsquerschnitt aus den folgenden Bereichen darstellen: Planungsunternehmen, ausführende Bauunternehmen, Bauökonomie und Kostenermittlung spezialisiert.

2.2.2 Ablauf Expertenbefragung

Die Teilnehmenden wurden telefonisch oder per Email angefragt. Die Expertenbefragungen erfolgten geführt, um die Möglichkeit für Konkretisierungen durch die Teilnehmenden zu geben. Zudem kann der Wortlaut von Fragen geklärt werden und die befragende Person kann überprüfen, dass die Fragen wie gewünscht interpretiert wurden. Die Anonymität der Teilnehmenden wird gewährleistet und die Antworten vertraulich behandelt.

2.2.3 Pilotrunde

In einer Pilotrunde werden die unter Absatz 2.1 ermittelten Fragen getestet, um zu gewährleisten, dass die ermittelten Inhalte sich zur Beantwortung der Forschungsfrage eignen. Bei der Befragung stellt sich heraus, dass einige Fragen zu wenig präzise gestellt wurden und eine deutliche Abgrenzung fehlte.

- Bei den geschlossenen Fragen wird deshalb die Bewertung zugunsten der Verständlichkeit zu „1 = nicht wahr“, „3 = neutral“ und „5 = wahr“ geändert.
- Bei der Überprüfung der Frage zu den Herausforderungen wird bemerkt, dass die Liste der Antworten aus der Literatur nicht vollständig ist. Die präzisierte und überarbeitete Aufzählung sieht nun folgende, ergänzende Antwortmöglichkeiten vor:
 - Haftungsrisiken bezüglich des digitalen Bauwerksmodells,
 - Mangelnde Datenqualität,
 - Schnittstellenabstimmung,
 - Unklare Prozessabläufe [10, S. 545]Außerdem werden folgende Formulierungen zugunsten einer allgemeingültigen Sichtweise geändert:
 - „Softwarelösung (Werkzeug)“ statt „geeignete Werkzeuge (beispielsweise Software)“
 - „Normierung/Standardisierung fehlen“ statt „Normierte Mengenermittlung“

2.2.4 Transkription

Alle Expertenbefragungen werden aufgezeichnet und anschließend transkribiert, was eine präzise Antwortanalyse ermöglicht und Verzerrungen reduzieren soll.

2.3 Qualitative Inhaltsanalyse

Alle offenen Fragen werden mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet. Diese Methode stammt aus der empirischen Sozialforschung und mit ihr „steht ein Verfahren qualitativ orientierter Textanalyse zur Verfügung, das mit dem technischen Know-how der quantitativen Inhaltsanalyse [...] große Materialmengen bewältigen kann, dabei aber im ersten Schritt qualitativ-interpretativ bleibt und so auch latente Sinngehalte erfassen kann.“ [11, S. 633]

2.3.1 Ablauf

Für die vorliegende Forschung wird folgendes Ablaufmodell angelehnt an Mayring gewählt:

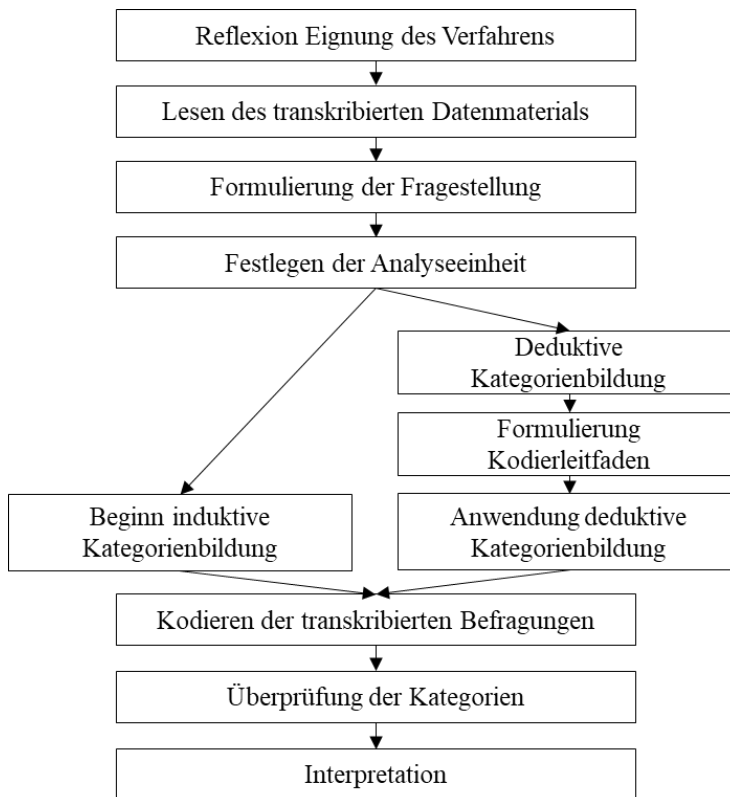


Abb. 2-1: Ablauf qualitative Inhaltsanalyse [12, S. 640]

Nachdem die qualitative Inhaltsanalyse als geeignet befunden wird, wird das Datenmaterial gelesen. Die Fragestellung ergibt sich aus der Forschungsfrage des vorliegenden Forschungspapiers. Die Befragungen sind jeweils als eine Analyseeinheit zu sehen. Die Kodiereinheit sind Textteile, einzelne Worte, Abschnitte oder Sätze. Zunächst erfolgt dann die deduktive Kategorienbildung anhand der Literaturrecherche. Jede Kategorie

wird im Kodierleitfaden definiert und mit einem Textbeispiel hinterlegt. Anschließend werden die deduktiven Kategorien durch induktive Kategorien aus der Befragung ergänzt. Die Aussagen der Teilnehmenden können so einzelnen Kategorien zugeordnet werden. Die Auswertung erfolgt als Längsauswertung pro Befragung.

2.3.2 Kategorienbildung und Kodierleitfaden

Zunächst werden die deduktiven Kategorien aus der vorangegangenen Recherche unter Berücksichtigung der Experteninterviews gebildet, während die induktiven Kategorien im Material aus den Textstellen direkt formuliert werden.

Kategorie	Definition	Beispiel aus Befragung	Kodierregel
Fehlende Standardisierung/ Normierung [10, S. 545]	Fehlende Standardisierungen und Normierung bei der Prozessgestaltung	„Normierung, Standardisierung und Softwarelösung, da halte ich, nach allem, was wir bis jetzt gesehen haben, alles für also grotten-schlecht.“	Nennung fehlender Standardisierung und Normierung, die zu nicht reibungslos funktionierenden Prozessabläufen führt
Datenqualität [9, S. 2]	Mangelnde Vollständigkeit und Qualität der Daten in digitalen Bauwerksmodellen	„Die Datenqualität, das ist allerdings die größte Herausforderung, also bei Externen vor allen Dingen.“	Nennung mangelnder Datenqualität, die zu nicht reibungslos funktionierenden Prozessabläufen führt
Softwareneutrales Austauschformat DBM [13, Art. 4.5.6]	Softwareunabhängige Zusammenarbeit ermöglicht es, ein frei gewähltes Softwareprodukt zu verwenden	„die IFC-Schnittstelle, finde ich, die lässt sehr zu wünschen übrig, weil ich einfach mit der heutigen IFC-Schnittstelle bei Weitem nicht alle Attribute übernehmen kann“	Nennung/Beschreibung softwareneutraler Austauschformate für bspw. Projektbearbeitung mit openBIM
Prozessunterbrechung	Prozessbestandteil, der nicht in den modellbasierten Prozessablauf mit dem DBM als zentrale Informationsquelle eingebunden ist	„Das machen wir momentan halt nicht, weil wir das momentan, da wollen wir hinkommen, dass wir Kosten steuern können.“	Explizite Nennung von Vorgängen oder Prozessbestandteilen, die nicht in den modellbasierten Ablauf aufgenommen und nicht mit dem DBM als zentrale Informationsquelle verbunden sind

Schwierigkeit im Prozessablauf	Auslöser/Grund für nicht reibungslosen Ablauf von Prozessabläufen – nur mit deutlich Mehraufwand oder über Umwege möglich	„Die Datenqualität, das ist allerdings die größte Herausforderung, also bei Externen vor allen Dingen.“	Nennung von Herausforderungen, die zu Schwierigkeiten im Prozessablauf führen
Datenqualität als Prozessschwierigkeit	Prozessabläufe, die nicht reibungslos funktionieren und durch mangelnde Datenqualität hervorgerufen werden	„Mangelnde Datenqualität auf jeden Fall.“	Nennung von Datenqualität als Herausforderung oder Schwierigkeit, die Einfluss auf den Prozessablauf hat
Informationsbeschaffung/-abstimmung als Prozessschwierigkeit	Prozessabläufe, die nicht reibungslos funktionieren und durch fehlerhafte Informationsbeschaffung oder Informationsabstimmung hervorgerufen werden	„das ist oft so, dass eben einfach zu dem Zeitpunkt, wenn die ersten Unterlagen entstehen, solche Sachen noch gar nicht definiert sind“	Nennung von Informationsbeschaffung oder Informationsabstimmung als Herausforderung oder Schwierigkeit, die Einfluss auf den Prozessablauf hat
Fehlende Standardisierung und Normierung als Prozessschwierigkeit	Prozessabläufe, die nicht reibungslos funktionieren und durch fehlende Standardisierung und Normierung hervorgerufen werden	„Also was, glaube ich, einen riesen Mehrwert geben würde, ist, wenn man jetzt typisiert, ein einheitlicher Materialkatalog.“	Nennung von fehlender Standardisierung und Normierung als Herausforderung/Schwierigkeit; Nennung von Wunsch nach Standardisierung/Normierung
Schnittstellenübergreifende Softwarelösungen als Prozessschwierigkeit	Prozessabläufe, die nicht reibungslos funktionieren und durch fehlende schnittstellenübergreifende Softwarelösungen hervorgerufen werden	„Also ich würde mir eine Software-Lösung vorstellen, die wirklich durchgängig ist.“	Nennung von fehlenden schnittstellenübergreifenden Softwarelösungen als Herausforderung oder Schwierigkeit, die Einfluss auf den Prozessablauf hat
Fachplanermodell als Prozessunterbrechung	Fachplanermodell, das nicht in den modellbasierten Prozessablauf als Informationsquelle eingebunden ist	„Die gibt es, aber die haben sehr oft einen schlechten Informationsgehalt.“	Explizite Nennung des Fehlens oder mangelhaften Informationsgehalts von Fachplanermodellen im Prozess

Tab. 2-3: Kodierleitfaden – deduktive und induktive Kategorien [Eigene Darstellung]

„Kategorien stellen Analyseaspekte als Kurzformulierungen dar, sind in der Formulierung mehr oder weniger eng am Ausgangsmaterial orientiert und können hierarchisch geordnet sein (Ober- und Unterkategorien)“ [11, S. 634], weshalb die ermittelten deduktiven und induktiven Kategorien in Haupt- und Unterkategorien eingeteilt werden.

Hauptkategorie	Unterkategorie
Schwierigkeiten im Prozessablauf	Softwareneutrales Austauschformat
	Datenqualität
	Schnittstellenübergreifende Softwarelösungen
	Fehlende Standardisierung / Normierung
	Informationsbeschaffung / -abstimmung
Prozessunterbrechung	Fachplanermodell

Tab. 2-4: Kategoriensystem – Haupt- und Unterkategorien [Eigene Darstellung]

3 Diskussion

Als Ergebnis der Auswertung kann zunächst festgestellt werden, dass zwischen Prozessschwierigkeiten und Prozessunterbrechungen unterschieden werden muss. Die Prozessschwierigkeit begründet dabei einen nicht reibungslosen Ablauf mit Mehraufwand, wobei der Prozess trotzdem modellbasiert durchgeführt werden kann. Hingegen stellt die Prozessunterbrechung einen Prozessbestandteil dar, der das digitale Bauwerksmodell nicht als zentrale Informationsquelle einbindet.

Die befragten Personen geben an, dass softwareneutrale Austauschformate eine Schwierigkeit im Prozessablauf darstellen. Trotz normierter Austauschformate, Stand der Technik heute IFC 4, kommt es zu fehlenden Informationen in openBIM¹ Projekten. Auch mangelnde Datenqualität des zu verwendenden digitalen Bauwerksmodells für die Kostenermittlung ist eine Herausforderung beim Vorgehen. Diese Problematik entsteht überwiegend bereits zu Projektbeginn aus der fehlenden Standardisierung und Normierung zur Erstellung von digitalen Bauwerksmodellen im Allgemeinen und in Bezug auf den Anwendungsfall der Kostenermittlung. Ebenfalls frühzeitig treten Schwierigkeiten bei der Informationsbeschaffung und Informationsabstimmung für die Gebäudemodelle auf. Sowohl die fehlende Normierung und Standardisierung als auch die mangelhafte Informationsbeschaffung und -abstimmung wirken sich auf die Datenqualität der digitalen Bauwerksmodelle und somit auf alle nachfolgenden Prozessschritte aus. Die Möglichkeit zur Nutzung von schnittstellenübergreifenden Softwarelösungen ist in der Praxis nicht immer reibungslos gegeben. Die Teilnehmenden Personen der Expertenbefragung geben aber an, dass dieser Schwierigkeit durch Insellösungen begegnet und der Prozess dadurch nicht unterbrochen wird.

¹ Projektbearbeitung erfolgt über ein softwareneutrales Austauschformat und nicht über native Datenformate

Als Prozessunterbrechung wird durch die teilnehmenden Personen die Einbindung von Fachmodellen angegeben. Das Vorliegen der entsprechenden digitalen Fachmodelle ist zum einen im Prozess nicht standardmäßig gefordert und zum anderen ist die Datenqualität aufgrund fehlender Standards häufig mangelhaft. Es kann zudem bei den Fachmodellen unterschieden werden, ob die Kosten elementbasiert zuordnungsbar sind oder eher nicht. Die elementbasierten Kostenermittlungen finden beispielsweise bei Bauingenieurangaben oder Landschaftsarchitektur Anwendung, während Kostenermittlungen mit digitalen Fachmodellen von Heizungs- oder Lüftungsingenieuren eher nicht elementbasiert durchgeführt werden. Die Teilnehmenden geben an, dass keine vollständige Integration der digitalen Fachmodelle für den Prozess der Kostenermittlung stattfindet. In der vorliegenden Forschung zeigt sich, dass in der modellbasierten Kostenermittlung sowohl Prozessschwierigkeiten als auch Prozessunterbrechungen im Prozessablauf existieren. Zu den softwarebasierten Prozessschwierigkeiten zählen vor allem die Nutzung von softwareneutralen Austauschformaten und schnittstellenübergreifenden Softwarelösungen. Zu den nicht-softwarebasierten Schwierigkeiten zählt vor allem die mangelnde Datenqualität digitaler Gebäudemodelle. Diese resultiert wiederum überwiegend aus fehlenden Normierungen und Standardsierungen sowie fehlender Informationsbeschaffung und -abstimmung. Als Prozessunterbrechung ist die vollständige Integration von digitalen Fachmodellen zu nennen.

4 Ausblick

Zur Vertiefung der vorliegenden Forschung ist zunächst die Standardisierung und Normierung der Prozessabläufe und -inhalte zu nennen. Dadurch soll die Datenqualität gewährleistet werden und die Informationsbeschaffung und -abstimmung verbessert werden. Es ist zu klären, welche Informationen zu welchen Prozesszeitpunkt in welcher Detailtiefe vorliegen müssen, um einen standardisierten, vergleichbaren Prozess zu ermöglichen. Zudem kann auch eine IT-orientierte Forschung bezüglich der softwareneutralen Austauschformate und der schnittstellenübergreifenden Softwarelösungen interessant sein, um einen reibungslosen Prozessablauf aus technischer Sicht zu ermöglichen. Als weitere Ergänzung zur vorliegenden Forschung ist die Definition der Prozessschwierigkeiten und -unterbrechungen für modellbasierte Kostenkontrolle und Kostensteuerung zu nennen. Diese Prozesse vervollständigen den Prozess modellbasierter Kostenplanung.

Grundlegend ist zudem eine Untersuchung zur frühzeitigen Implementierung von Kostenermittlung im Speziellen und Kostenplanung im Allgemeinen im Gesamtkontext modellbasierter Projektabläufe relevant. Hier kann die Fragestellung betrachtet werden, welche Mechanismen die frühzeitige Einbindung von modellbasierter Kostenplanung als wichtigen Projekterfolgsfaktor ermöglichen und verbessern.

5 Literatur

- [1] S. Bahlau und K. Klemt-Albert, „Evaluationen zu den Potenzialen von Building Information Modeling“, *Bauingenieur*, Jg. 2018, Nr. 93, S. 286–294, 2018.
- [2] *DIN EN ISO 19650-1, Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) - Informationsmanagement mit BIM: Teil 1, Begriffe und Grundsätze (ISO 19650-1:2018)*, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Aug. 2019.
- [3] A. Leśniak, M. Górka und I. Skrzypczak, „Barriers to BIM Implementation in Architecture, Construction, and Engineering Projects—The Polish Study“, *Energies*, Jg. 2021, Nr. 14, S. 1–20, 2021.
- [4] K. C. Weist und L. T. Lenz, „Potenziale von BIM in Verbindung mit Constraint Solving Techniken im Rahmen der Evaluation am Beispiel eines Fabrikadaptierungsprozesses“ in *30. BBB-Assistententreffen 2019: Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter Bauwirtschaft, Baubetrieb, Bauverfahrenstechnik : 10. - 12. Juli 2019 : Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB)*, S. Haghsheno, K. Lennerts und S. Gentes, Hg., Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2019, S. 356–372.
- [5] S. Bender und C. Stoy, „Prozesslücken modellbasierter Baukostenermittlung aus ausgewählter Akteurskonstellation“, *Bauingenieur*, Jg. 2021, Nr. 96, S. 70–78, 2021.
- [6] H.-U. Ruf, „Verfahren der Kostenplanung“ in *BKI Handbuch Kostenplanung im Hochbau*, B. D. A. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH, Hg., Stuttgart: BKI, 2021, S. 123–162.
- [7] A. N. Hasan und S. M. Rasheed, „The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry“, *Civil Engineering Journal*, Jg. 2019, Nr. 5, S. 412–421, 2019.
- [8] R. Stanley und D. P. Thurnell, „The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand“, *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, Jg. 2014, Nr. 14-1, S. 105–117, 2014.
- [9] Y. Yao, H. Qin und J. Wang, „Barriers of 5D BIM Implementation in Prefabrication Construction of Buildings“, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, Jg. 580, S. 1–9, 2020.
- [10] M. Mayouf, M. Gerges und S. Cox, „5D BIM: an investigation into the integration of quantity surveyors within the BIM process“, *Journal of Engineering, Design and Technology*, Jg. 2019, Nr. 17-3, S. 537–553, 2019.
- [11] P. Mayring und T. Fenzl, „Qualitative Inhaltsanalyse“ in *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, N. Baur und J. Blasius, Hg., 2. Aufl. Wiesbaden: Springer VS, 2019, S. 633–648.
- [12] P. Mayring, *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*, 12. Aufl. Weinheim: Beltz, 2015.
- [13] *Gemeinsame Datenumgebungen (CDE) für BIM-Projekte –Funktionen und offener Datenaustausch zwischen Plattformen unterschiedlicher Hersteller: Teil 1: Module und Funktionen einer Gemeinsamen Datenumgebung; mit digitalem Anhang*, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Apr. 2019.

Systematik zur inhaltlichen Definition von BIM-Anwendungsfällen für das Facility Management

Maximilian Benn,¹ Christian Stoy²

¹ Institut für Bauökonomie, Universität Stuttgart, maximilian.benn@bauoek.uni-stuttgart.de

² Institut für Bauökonomie, Universität Stuttgart, info@bauoek.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Nach wie vor ist die Digitalisierung im Bausektor im Vergleich zu den meisten anderen Wirtschaftszweigen im Rückstand, wenngleich sie durch Technologien wie das Building Information Modelling (BIM) einen Schub erfahren hat. Unter den angenommenen Nutzen der BIM-Methode gehören direkte oder indirekte finanzielle Vorteile zu den am häufigsten genannten. Ein in der einschlägigen Forschung häufig genanntes Hindernis stellt jedoch die Identifikation von FM-Prozessen und entsprechenden BIM-Anwendungsfällen dar. Für die BIM-Implementierung im FM müssen BIM-Anwendungsfälle für das FM identifiziert und definiert werden. Diese Arbeit entwickelt hierzu eine literaturbasierte Systematik zur inhaltlichen Definition von BIM-Anwendungsfällen für das FM und demonstriert diese am Beispiel des Flächen- und Raummanagements. Als einschlägige Literatur wurden hierbei Leitfäden sowie wissenschaftliche Publikationen herangezogen. Im Ergebnis zeigt sich, dass der BIM-Anwendungsfall „Flächen- und Raummanagement“ vor allem als die Ermittlung von Flächen und Flächennutzungen sowie die Verwaltung von Flächen und Flächennutzungen definiert wird. Aufbauend auf den Ergebnissen lassen sich folgende Ansätze für die weitere Forschung auf diesem Gebiet formulieren: (1) BIM kann grundsätzlich zahlreiche FM-Prozesse und -Teilprozesse unterstützen; (2) Aufbauend auf konkreten Prozessen kann FM-Fachleuten die Ableitung präziser Informationsanforderungen an ein BIM erleichtert werden.

Keywords: Building Information Modelling (BIM); Facility Management (FM); BIM-Anwendungsfall; Definition

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	66
2	Systematik zur inhaltlichen Definition von BIM-Anwendungsfällen	66
3	Methodik.....	67
4	Stand der Forschung.....	69
4.1	BIM im Facility Management.....	69
4.2	Einschlägige Forschung	70
5	Anwendungsbeispiel „Flächen- und Raummanagement“	71
5.1	Identifikation einschlägiger Literatur	71
5.2	Definition des BIM-Anwendungsfalls „Flächen- und Raummanagement“	71
6	Weitere Forschung.....	72
7	Literatur	73

1 Einleitung

Nach wie vor ist die Digitalisierung im Bausektor im Vergleich zu den meisten anderen Wirtschaftszweigen im Rückstand, wenngleich sie durch Technologien wie das Internet der Dinge (IoT), 3D-Scanning, Distributed-Ledger-Technologien (DLT) und Building Information Modelling (BIM) einen erheblichen Schub erfahren hat. [1, S. 7, 2, S. 2, 3, S. 167, 4, S. 6] Akteure wie die EU BIM Task Group identifizierten dementsprechend die BIM-Implementierung als den Digitalisierungsmoment des Bausektors in allen Lebenszyklusphasen. [5, S. 8] Dabei gehören direkte und indirekte finanzielle Vorteile zu den am häufigsten angenommenen Nutzen der BIM-Methode. Schätzungen zum Kosteneinsparungspotential durch BIM liegen zwischen 8 % und 23 % in Abhängigkeit von der betrachteten Lebenszyklusphase. [6, S. 13]. Was die finanziellen Auswirkungen der einzelnen Lebenszyklusphasen betrifft, so übersteigen die während der Betriebsphase anfallenden Kosten die Gesamtkosten der Planungs- und Bauphase bei weitem. Schätzungen über den genauen Anteil der Betriebsphase an den Lebenszykluskosten variieren. Sie reichen von circa 60 % [7, S. 1], über 80 % [8, S. 22] bis zu 85 % [9, S. 1] der Lebenszykluskosten eines Gebäudes. In Anbetracht dieses Anteils der Betriebsphase an den Lebenszykluskosten wird davon ausgegangen, dass hier die potentiellen Kosteneinsparungen durch die BIM-Implementierung beträchtlich sind. Vor diesem Hintergrund ist BIM-Implementierung im Facility Management (FM) von stetig wachsendem Interesse für die akademische Forschung. [10, S. 1125]

Ein häufiger Befund einschlägiger Forschung ist allerdings das Weiterbestehen zahlreicher Hindernisse auf dem Weg zu einer umfassenden BIM-Implementierung im FM. Ein häufig genanntes Hindernis stellt dabei die Identifikation von FM-Prozessen und entsprechenden BIM-Anwendungsfällen dar. [11, S. 564] Für die BIM-Implementierung im FM müssen daher BIM-Anwendungsfälle für das FM identifiziert und definiert werden. Diese Arbeit entwickelt hierzu eine Systematik zur literaturbasierten inhaltlichen Definition von BIM-Anwendungsfällen für das FM, um auf deren Grundlage die weitere Definition von Informationsanforderungen zu erleichtern.

2 Systematik zur inhaltlichen Definition von BIM-Anwendungsfällen

Die in dieser Arbeit vorgestellte Systematik zur inhaltlichen Definition von BIM-Anwendungsfällen baut auf einer literaturbasierten Identifikation konkreter FM-Prozesse und -Teilprozesse auf. Es wird, ausgehend von den in der GEFMA 100-2 [12] definierten Prozessen, eine vergleichende Betrachtung zwischen FM-Prozessen und einschlägiger Literatur vorgenommen. Das Ziel ist hierbei, die Schnittmengen zwischen den in der GEFMA 100-2 definierten FM-Prozessen und den in der einschlägigen Literatur genannten BIM-Anwendungsfällen zu identifizieren. Darauf aufbauend hilft die entwickelte Systematik dabei, inhaltliche Definitionen bestimmter BIM-Anwendungsfälle aus der Synthese einschlägiger Literatur zu generieren. Dieser Schritt unterstützt die da-

rauffolgende Festlegung projekt- und unternehmensspezifischer Informationsanforderungen in einem Projekt. Abb. 2-1 illustriert die vorgeschlagene dreistufige Systematik.

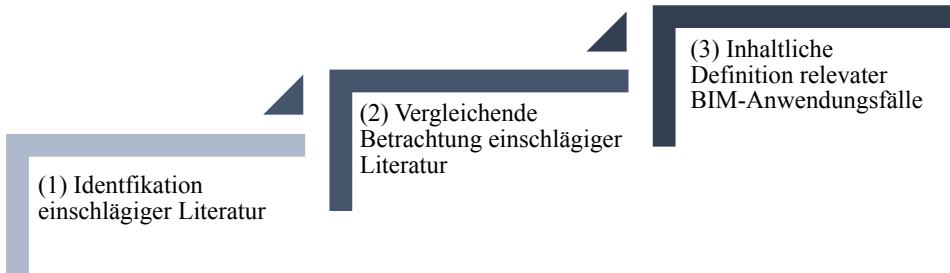


Abb. 2-1: Systematik zur inhaltlichen Definition von BIM-Anwendungsfällen für das FM

3 Methodik

Zur Umsetzung der vorgeschlagenen Systematik wurde ein dreistufiges Mixed-Methods-Verfahren gewählt. Wie in Abbildung 2-2 dargestellt, umfasst es die Stufen: (1) Recherche von Literatur zu BIM-Anwendungsfällen für das FM; (2) Identifikation von BIM-Anwendungsfällen für das FM; (3) Definition der inhaltlichen Beschreibung von BIM-Anwendungsfällen für das FM. Die einzelnen Schritte dieser Methodik werden in den folgenden Abschnitten dieses Kapitels näher erläutert.

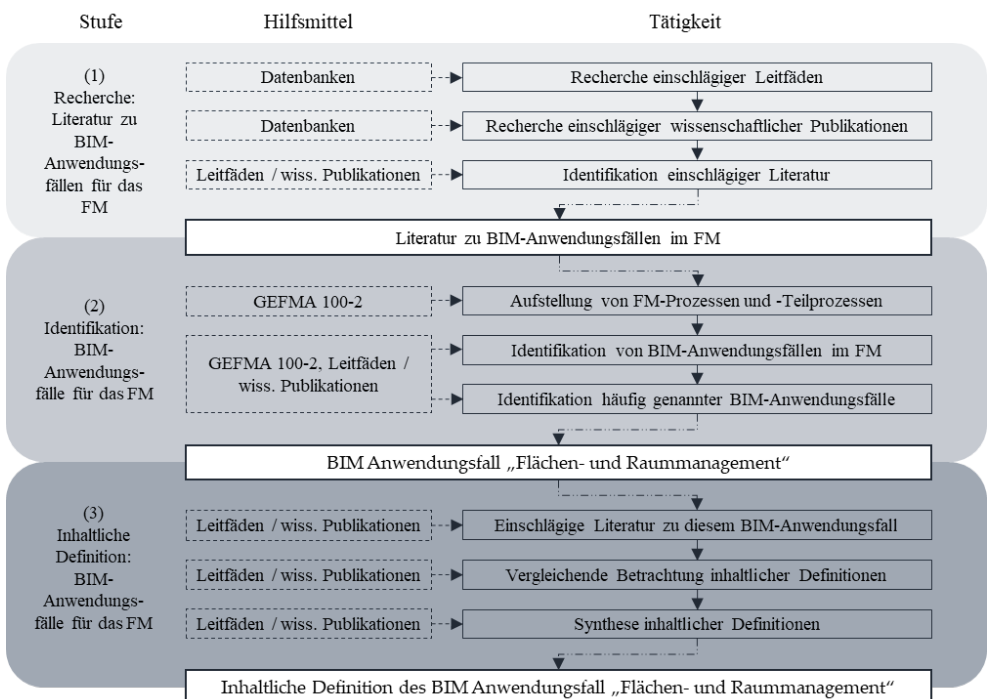


Abb. 2-2: Angewandte Forschungsmethodik

Stufe (1) zielt darauf ab, einschlägige Literatur für die Erstellung eines Basiskatalogs von BIM-Anwendungsfällen zur Unterstützung von FM-Prozessen zu identifizieren. Hierzu erfolgte die Ermittlung von Quellen zunächst durch die Analyse von Berichten über den internationalen BIM-Reifegrad, um führende Nationen bei der BIM-Implementierung und Leitfäden aus diesen Nationen zu identifizieren. Das Ziel war hierbei, Leitfäden zu identifizieren, die von staatlichen Organisationen oder Nichtregierungsorganisationen zur Verfügung gestellt und veröffentlicht wurden. Dies geschah unter der Annahme, dass darin bereits etablierte und damit in Fachkreisen bekannte Begriffe und BIM-Anwendungsfälle verwendet würden. Die Suchbegriffe umfassten hierbei: „BIM“; „Building Information Modelling“; „BIM guide“; „BIM standard“; „BIM use“; „BIM use case“. Zu den Datenbanken für die Literaturrecherche gehörten: Web of Science, Google Scholar und Engineering Village. Als international führende Länder mit hohem BIM-Reifegrad wurden das Vereinigte Königreich, Singapur, China, Hongkong, Finnland, Norwegen und die Vereinigten Staaten identifiziert. [13, S. 57] Auf europäischer Ebene sind die Niederlande, Spanien, Frankreich und Deutschland zu nennen. [14, S. 11] Insgesamt konnten 14 Leitfäden identifiziert und als Quelle für BIM-Anwendungsfälle für das FM herangezogen werden. Eine zweite Literaturrecherche zielte auf die Identifizierung einschlägiger wissenschaftlicher Publikationen zu BIM-Anwendungsfällen für das FM ab. Die Suchbegriffe umfassten hierbei: „BIM“; „Building Information Modeling“; „BIM use“; „BIM use case“; „FM“; „Facility Management“; „operations“; „maintenance“. Zu den Datenbanken für die Literaturrecherche gehörten: Web of Science, Google Scholar und Engineering Village.

Schritt (2) umfasst die Identifikation von BIM-Anwendungsfällen auf Grundlage der zuvor identifizierten einschlägigen Literatur. Eine systematische Gegenüberstellung der FM-Prozesse und -Teilprozesse, die der Deutsche Verband für Facility Management e.V. in seinem Leitfaden GEFMA 100-2 bereitstellt, mit der gesammelten einschlägigen Literatur bildete hierbei den Ausgangspunkt. [12] Die GEFMA 100-2 enthält eine umfassende Liste von kategorisierten FM-Prozessen und -Teilprozessen, die von einem Expertengremium entwickelt wurden und somit eine zuverlässige Referenzstruktur darstellen. Die vergleichende Analyse zwischen den einschlägigen Leitfäden und der GEFMA 100-2 erlaubte die Erstellung eines Basiskatalogs von BIM-Anwendungsfällen für das FM. Im Rahmen dieser Arbeit wird der BIM-Anwendungsfall „Flächen- und Raummanagement“ vertieft betrachtet.

Schritt (3) bildet den letzten Teil dieser Arbeit mit einer spezifischen inhaltlichen Definition des BIM-Anwendungsfalls „Flächen- und Raummanagement“ als Anwendungsbeispiel der hier vorgestellten Systematik. Auf Grundlage der in Schritt (1) identifizierten Leitfäden und wissenschaftlichen Publikationen wird eine inhaltliche Definition der konkreten FM-Prozesse, die durch diesen BIM-Anwendungsfall unterstützt werden können, vorgeschlagen.

4 Stand der Forschung

4.1 BIM im Facility Management

ISO 41011:2017 definiert FM als eine „organisatorische Funktion, die Personen, Ort und Prozess innerhalb der bebauten Umgebung zu dem Zweck integriert, die Qualität des Lebens von Personen und die Produktivität des Kerngeschäfts zu verbessern.“ [15, S. 6]

Vorhergegangene Studien legen die Vermutung nahe, dass das FM in vielfacher Hinsicht von der BIM-Implementierung profitieren kann: Effizienzgewinne durch die automatische Generierung geometrischer Informationen für das FM [16, S. 266], eine optimierte Datenverwaltung [17, S. 64-66], eine effizientere Kommunikation und Koordination von FM-Prozessen [18, S. 1187], ein wirtschaftlicheres Gebäudemanagement [19, S. 51-52], sowie eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit [20, S. 258] sind nur einige Beispiele. Obwohl die Forschung zur BIM-Implementierung im FM in den letzten Jahren zugenommen hat, ist die Anwendung von BIM in der Betriebsphase im Vergleich zu Planung und Bau nach wie vor begrenzt. [21, S. 5] Die präzise inhaltliche Definition von BIM-Anwendungsfällen für bestimmte FM-Prozesse stellt hier eines der am häufigsten genannten Hindernisse für die BIM-Implementierung im FM dar. [11, S. 564]

BIM-Anwendungsfälle können definiert werden als „Prozesse, die unter Verwendung von BIM-Modellen zur Erreichung der festgelegten Ziele beitragen.“ [22, S. 6] Das Erreichen dieser festgelegten Ziele durch den Einsatz von BIM ist ein Kernkonzept der BIM-Implementierung. Im Fall von FM beschreiben diese spezifischen Ziele oft die Generierung eines Nutzens für FM-Prozesse durch Informationen, die in einem BIM gespeichert oder daraus abgerufen werden. Da der BIM-Workflow verglichen mit dem Standard Workflow mehr Arbeitsaufwand auf frühere Planungsphasen konzentriert, verlagert sich die Identifizierung von BIM-Anwendungsfällen entsprechend auch in frühere Projektphasen, wie in Abbildung 4-1 dargestellt. Die im FM häufig umfangreichen Informationsanforderungen erfordern dementsprechend die frühzeitige Identifizierung von BIM-Anwendungsfällen, um eine effektive und zielgerichtete Informationserfassung und -bereitstellung zu gewährleisten. [23, S. 42268]

Da FM-Fachleute mit einigen Schwierigkeiten hinsichtlich der BIM-Implementierung im FM konfrontiert sind, stellt die anfängliche Identifizierung von BIM-Anwendungsfällen auf der Grundlage von zu unterstützten FM-Prozessen für viele eine zusätzliche Herausforderung dar. [18, S. 1189] Alshorafa und Ergen weisen darauf hin, dass es bisher keine Anleitung zur Definition bestimmter BIM-Anwendungsfälle für das FM gibt. [11, S. 564] Dementsprechend identifizierten Miettinen et al. die Unsicherheit über BIM-Anwendungsfälle und deren Mehrwert für das FM als eines der größten Probleme für FM-Fachleute. [24, S. 10] Um diese Hindernisse zu überwinden, kommen Edirisinghe et al. zu dem Schluss, dass weitere Forschung zur Definition spezifischer BIM-Anwendungsfälle für FM-Prozesse erforderlich ist. [10, S. 1140]

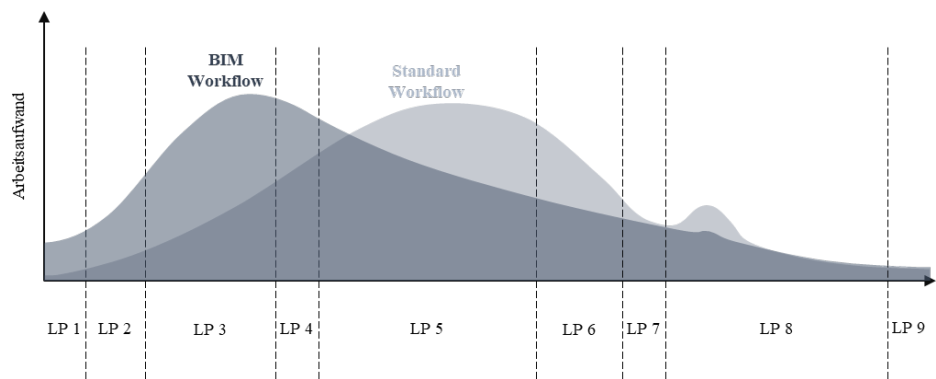


Abb. 4-1: Arbeitsaufwand während der Leistungsphasen gemäß HOAI: Der Standard Workflow im Vergleich zum BIM Workflow

4.2 Einschlägige Forschung

Die Forschung zu BIM-Anwendungsfällen für das FM hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. [25, S. 136] Häufig liegt der Fokus einschlägiger Forschung jedoch auf den Informationsanforderungen selbst. Ohne eine Verbindung zu den spezifischen Zielen und BIM-Anwendungsfällen für das FM besteht die Gefahr, dass relevante Informationen erst spät erkannt werden und nachträglich eingepflegt werden müssen. [26, S. 71] Tabelle 4-1 zeigt einschlägige wissenschaftliche Publikationen, die im Rahmen dieser Arbeit analysiert wurden.

Autoren	Jahr	Forschungsansatz
Becerik-Gerber et al. [27]	2012	Potentielle FM-Anwendungsbereiche, für die BIM genutzt werden kann, vor allem im Kontext öffentlicher Bauten
McArthur and Sun [28]	2015	Analyse und Priorisierung von BIM-Anwendungsfällen in Public-Private Partnerships
Mayo and Issa [29]	2016	Untersuchung des Informationsbedarfs für die BIM-Nutzung in bestimmten FM-Prozessen in öffentlichen Bauten
Cavka et al. [30]	2017	Definition des Informationsbedarfs eines Betreibers auf der Grundlage von FM-Funktionen in öffentlichen Bauten
Miettinen et al. [24]	2018	Analyse des aktuellen Stands der BIM-Implementierung für FM in öffentlichen Bauten
Alshorafa and Ergen [11]	2020	Definition spezifischer Informationsanforderungen, abhängig von den ermittelten BIM-Anwendungsfällen für das FM

Tab. 4-1: Einschlägige Forschung zu BIM-Anwendungsfällen für das FM

5 Anwendungsbeispiel „Flächen- und Raummanagement“

Im nachfolgenden Kapitel wird beispielhaft die inhaltliche Definition des BIM-Anwendungsfalls „Flächen- und Raummanagement“ unter Anwendung der vorgestellten Systematik zur inhaltlichen Definition von BIM-Anwendungsfällen beschrieben.

5.1 Identifikation einschlägiger Literatur

Basierend auf den Ergebnissen von Schritt (1) der angewandten Methodik wurden insgesamt 17 einschlägige Publikationen als potentielle Quellen für eine inhaltliche Definition des BIM-Anwendungsfalls „Flächen- und Raummanagement“ identifiziert, wie in Tabelle 5-1 gezeigt. Es gilt hierbei zu beachten, dass diese erste Aufstellung lediglich die grundsätzliche Nennung des BIM-Anwendungsfalls in der Quelle erfasst. Die Suche nach konkreten FM-Prozessen und -Teilprozessen, welche durch den BIM-Anwendungsfall unterstützt werden können, wurde im darauffolgenden Schritt durchgeführt.

Bezeichnung	Potentielle Quellen	Nennungen
Flächen- und Raummanagement	[27]; [28]; [21]; [29]; [31]; [32]; [33]; [34]; [35]; [36]; [37]; [38]; [39]; [40]; [41]; [42]; [43]	17

Tab. 5-1: Potentielle Quellen für die inhaltliche Definition des BIM-Anwendungsfalls „Flächen- und Raummanagement“

5.2 Definition des BIM-Anwendungsfalls „Flächen- und Raummanagement“

Die potentiellen Quellen für die inhaltliche Definition beinhalten die Beschreibung und Definition des BIM-Anwendungsfalls „Flächen- und Raummanagement“ in unterschiedlichem Umfang. Die vertiefte Analyse des Informationsgehalts der potentiellen Quellen zeigt, dass insgesamt fünf Quellen detaillierte inhaltliche Definitionen des genannten BIM-Anwendungsfalls enthalten. Diese Quellen eignen sich daher für die Synthese einer inhaltlichen Definition des BIM-Anwendungsfalls auf Grundlage konkreter FM-Prozesse im Flächen- und Raummanagement. Die identifizierten Quellen werden in Tabelle 5-2 erläutert.

Herausgeber	Jahr	Inhaltliche Definition gemäß der Quelle
Statsbygg [35]	2013	Ermittlung von Flächen Generierung von Raumlisten
NATSPEC [37]	2016	Ermittlung von Flächennutzungen Zuweisung von Flächen

Karlsruher Institut für Technologie [33]	2018	Verwaltung von Flächen und Räumen Koordinieren von Flächen und Räumen Rückverfolgung von Flächen und Räumen
buildingSMART International [32]	2018	Ermittlung von Flächennutzungen Verwaltung von Flächennutzungen Zuweisung von Flächen
BIMe initiative [34]	2020	Verwaltung von Flächennutzungen Zuweisung von Flächen

Tab. 5-2: Identifizierte Quellen für die inhaltliche Definition des BIM-Anwendungsfalls „Flächen- und Raummanagement“

Tabelle 5-3 zeigt die vorgeschlagene inhaltliche Definition des BIM-Anwendungsfalls „Flächen- und Raummanagement“, ausgehend von den identifizierten Quellen und der Synthese von deren inhaltlichen Beschreibungen des BIM-Anwendungsfalls. In den Ergebnissen lässt sich erkennen, dass der Nutzen der BIM-Methode für das Flächen- und Raummanagement vor allem im Bereich der Ermittlung von Flächen und Flächennutzungen, sowie der Verwaltung von Flächen und Flächennutzungen gesehen wird.

BIM-Anwendungsfall	Vorgeschlagene inhaltliche Definition
Flächen- und Raummanagement	Ermittlung von Flächen Ermittlung von Flächennutzungen Generierung von Raumlisten Rückverfolgung von Flächen und Räumen Koordinieren von Flächen und Räumen Zuweisung von Flächen Verwaltung von Flächennutzungen Verwaltung von Flächen und Räumen

Tab. 5-3: Vorgeschlagene inhaltliche Definition des BIM-Anwendungsfalls „Flächen- und Raummanagement“

6 Weitere Forschung

Aufbauend auf den in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnissen lassen sich folgende Ansätze für die weitere Forschung auf diesem Gebiet formulieren:

- BIM kann grundsätzlich zahlreiche FM-Prozesse und -Teilprozesse unterstützen. Weitere Forschung bietet sich daher auf dem Gebiet der Identifikation und Ausformulierung weiterer BIM-Anwendungsfälle für das FM an.
- Aufbauend auf konkreten BIM-Anwendungsfällen kann FM-Fachleuten die Ableitung präziser Informationsanforderungen erleichtert werden. Durch die direkte Herleitung einer Informationsanforderung aus einem Prozess kann deren frühzeitige Berücksichtigung optimiert und nachverfolgt werden.

7 Literatur

- [1]European Construction Sector Observatory, *Digitalisation in the construction sector: Analytical Report*. [Online]. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45547> (Zugriff am: 2. August 2021).
- [2]K. Sigalov *et al.*, „Automated Payment and Contract Management in the Construction Industry by Integrating Building Information Modeling and Blockchain-Based Smart Contracts“, *Appli. Sci.*, Jg. 11, Nr. 16, S. 7653, 2021, doi: 10.3390/app11167653.
- [3]B. Daniotti, A. Pavan, S. Lupica Spagnolo, V. Caffi, D. Pasini und C. Mirarchi, *BIM-Based Collaborative Building Process Management*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2020.
- [4]McKinsey & Company, *Imagining construction's digital future*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future> (Zugriff am: 2. August 2021).
- [5]EU BIM Task Group, *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector: Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth*. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.eubim.eu/handbook-selection/> (Zugriff am: 2. August 2021).
- [6]P. Gerbert, S. Castagnino, h. Rothballer, A. Re und R. Filitz, *The Transformative Power of Building Information Modeling: Digital in Engineering and Construction*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bcg.com/de-de/publications/2016/engineered-products-infrastructure-digital-transformative-power-building-information-modeling> (Zugriff am: 2. August 2021).
- [7]A. Lewis, D. Riley und A. Elmualim, „Defining High Performance Buildings for Operations and Maintenance“, *IJFM*, Jg. 1, Nr. 2, 2010.
- [8]A. Pfnür, *Volkswirtschaftliche Bedeutung von Corporate Real Estate in Deutschland*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.aurelis-real-estate.de/fileadmin/user_upload/Bilder/News/Studien/Studie_CREM.pdf (Zugriff am: 15. Februar 2021).
- [9]P. Scarponcini, „Editorial: Time for an Integrated Approach to Facility Management“, *JCCE*, Jg. 10, Nr. 1, 1996.
- [10]R. Edirisinghe, K. A. London, P. Kalutara und G. Aranda-Mena, „Building information modelling for facility management: are we there yet?“, *ECAM*, Jg. 24, Nr. 6, S. 1119–1154, 2017, doi: 10.1108/ECAM-06-2016-0139.
- [11]R. Alshorafa und E. Ergen, „Identification of information requirements for implementing Building Information Modeling based on model uses“, *ITcon*, Jg. 25, S. 561–574, 2020, doi: 10.36680/j.itcon.2020.032.

- [12] *Facility management: Leistungsspektrum*, 100-2:2004-07, German Facility Management Association e.V. (GEFMA), Berlin, Germany, 2004.
- [13] McGraw Hill Construction Research & Analytics, *The Business Value of BIM for Construction in Global Markets: How Contractors Around the World Are Driving Innovation With Building Information Modeling*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.construction.com/toolkit/reports/bim-business-value-construction-global-markets> (Zugriff am: 25. März 2022).
- [14] Construction IT Alliance Limited, *BICP Global BIM Study: Lessons for Ireland's BIM Programme*. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.bicp.ie/bicp-global-bim-study> (Zugriff am: 21. Juli 2021).
- [15] *Facility Management – Begriffe (ISO 41011:2017); Deutsche Fassung EN ISO 41011:2018*, 41011:2019-04, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Berlin, Germany, 2019.
- [16] M. Kassem, G. Kelly, N. Dawood, M. Serginson und S. Lockley, „BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex“, *Built Environment Project and Asset Management*, Jg. 5, Nr. 3, S. 261–277, 2015, doi: 10.1108/BEPAM-02-2014-0011.
- [17] G. Carbonari, S. Ashworth und S. Stravoravdis, „How facility management can use building information modelling (BIM) to improve the decision making process“, *JFFM*, Jg. 10, S. 55–69, 2015.
- [18] M. Munir, A. Kiviniemi und S. W. Jones, „Business value of integrated BIM-based asset management“, *ECAM*, Jg. 26, Nr. 6, S. 1171–1191, 2019, doi: 10.1108/ECAM-03-2018-0105.
- [19] E. A. Pärn, D. J. Edwards und M. Sing, „The building information modelling trajectory in facilities management: A review“, *AIC*, Jg. 75, S. 45–55, 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2016.12.003.
- [20] T. Å. Evjen, S. R. H. Raviz und S. A. Petersen, „Enterprise BIM: A Holistic Approach to the Future of Smart Buildings“ in *REAL CORP 2020: Shaping urban change - livable city regions for the 21st century: Proceedings of the 25th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society*, Vienna; Austria, Sep. 2020, S. 251–260.
- [21] G. Carbonari, S. Stravoravdis und C. Gausden, „Improving FM task efficiency through BIM: a proposal for BIM implementation“, *JCRE*, Jg. 20, Nr. 1, S. 4–15, 2018, doi: 10.1108/JCRE-01-2017-0001.
- [22] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, *BIM4INFRA2020 - Teil 6: Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle*. [Online]. Verfügbar unter: https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf (Zugriff am: 27. Januar 2021).
- [23] B. Godager, E. Onstein und L. Huang, „The Concept of Enterprise BIM: Current Research Practice and Future Trends“, *IEEE Access*, Jg. 9, S. 42265–42290, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3065116.
- [24] R. Miettinen, H. Kerosuo, T. Metsälä und S. Paavola, „Bridging the life cycle: a case study on facility management infrastructures and uses of BIM“, *JFM*, Jg. 16, Nr. 1, S. 2–16, 2018, doi: 10.1108/JFM-04-2017-0017.
- [25] M. A. Hilal, T. Maqsood und A. Abdekhodae, „A scientometric analysis of BIM studies in facilities management“, *IJBPA*, Jg. 37, Nr. 2, S. 122–139, 2019, doi: 10.1108/IJBPA-04-2018-0035.
- [26] J. Messner *et al.*, *BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.2*. [Online]. Verfügbar unter: <https://bim.psu.edu/> (Zugriff am: 3. Februar 2021).
- [27] B. Becerik-Gerber, F. Jazizadeh, N. Li und G. Calis, „Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management“, *JCEM*, Jg. 138, Nr. 3, S. 431–442, 2012, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433.
- [28] J. J. McArthur und X. Sun, „Best practices for BIM Execution Plan development for a Public–Private Partnership Design-Build-Finance-Operate-Maintain project“ in *BIM 2015*, 2015, S. 119–130, doi: 10.2495/BIM150111.

- [29]G. Mayo und R. R. A. Issa, „Nongeometric Building Information Needs Assessment for Facilities Management“, *JME*, Jg. 32, Nr. 3, S. 4015054, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000414.
- [30]H. B. Cavka, S. Staub-French und E. A. Poirier, „Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management“, *AIC*, Jg. 83, S. 169–183, 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2017.08.006.
- [31]S. Lazar und J. J. McArthur, „BIM for Corporate Real Estate Data Visualization from Disparate Systems“ in *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, Smart City 360°*, A. Leon-Garcia et al., Hg., Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2016, S. 504–516, doi: 10.1007/978-3-319-33681-7_42.
- [32]buildingSMART International, *Use Case Documentation*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/02/bSI-Awards-2019-Use-Case-Documentation-V4-1.xlsx> (Zugriff am: 1. Juni 2021).
- [33]Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, *Katalog der BIM-Anwendungsfälle*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.tmb.kit.edu/download/Katalog_der_BIM-Anwendungsfaelle.pdf (Zugriff am: 17. März 2021).
- [34]BIME initiative, *BIME Initiative Model Uses List*. [Online]. Verfügbar unter: <https://bimexcellence.org/resources/200series/211in/> (Zugriff am: 1. Juni 2021).
- [35]Statsbygg, *Statsbygg Building Information Modelling Manual. Version 1.2.1*. [Online]. Verfügbar unter: www.statsbygg.no/bim (Zugriff am: 1. Juni 2021).
- [36]Bouw Informatie Raad, *Poster BIM Uses*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bouwinformatie-aad.nl/main.php?mode=download_cat&cat_id=10 (Zugriff am: 2. Juni 2021).
- [37]NATSPEC, *NATSPEC National BIM Guide*. [Online]. Verfügbar unter: <https://bim.natspec.org/documents/natspec-national-bim-guide> (Zugriff am: 8. Juni 2021).
- [38]Construction Industry Council, *CIC BIM Standards General Version 2*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bim.cic.hk/en/resources/publications?cate=48> (Zugriff am: 9. Juni 2021).
- [39]Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature, *Plan BIM 2022*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/sites/default/files/2019-07/Plan%20BIM%202022.pdf> (Zugriff am: 21. April 2021).
- [40]College of Engineering, *BIM uses*. [Online]. Verfügbar unter: <https://bim.psu.edu/uses/> (Zugriff am: 1. Juni 2021).
- [41]New York City Department of Design and Construction, *BIM Guidelines*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www1.nyc.gov/site/ddc/resources/publications.page> (Zugriff am: 2. Juni 2021).
- [42]buildingSMART Finland, *COBIM Common BIM Requirements: Series 12 Use of models in facility management*. [Online]. Verfügbar unter: <https://buildingsmart.fi/en/common-bim-requirements-2012/> (Zugriff am: 7. Juni 2021).
- [43]AEC, *AEC (UK) BIM Protocol Project BIM Execution Plan*. [Online]. Verfügbar unter: <https://aecuk.wordpress.com/documents/>.

Aktuelle Einschätzungen zur Holzhybridbauweise

Dominik Ehmann¹, Gottfried Mauerhofer²

¹ Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, Technische Universität Graz, dominik.ehmann@tugraz.at

² Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, Technische Universität Graz, gottfried.mauerhofer@tugraz.at

Kurzfassung

Aufgrund der Klimakrise sehen sich immer mehr Unternehmen in der Bau- und Immobilienwirtschaft veranlasst nachhaltiger zu handeln. Zunehmend wird die Reduktion der CO₂-Emissionen forciert. Eine Möglichkeit hierfür ist im Zuge der Errichtung von Hochbauten die vermehrte Verwendung von nachwachsenden Baustoffen, wie z.B. Holz.

Neben der reinen Holzbauweise gibt es auch die Holzhybridbauweise, bei welcher eine Verstärkung der Holzkonstruktion durch Stahl- oder Betonelemente erfolgt. In den letzten Jahren wurde diese Bauweise immer bekannter.

Da eine Literaturrecherche zur Holzhybridbauweise im österreichischen Hochbau keine zufriedenstellenden Ergebnisse lieferte, wurde eine empirische Untersuchung zu diesem Thema erforderlich.

Im Rahmen dieser empirischen Studie wurden mit Hilfe eines vorgefertigten Fragebogens insgesamt 43 österreichische Unternehmen zur Holzhybridbauweise befragt. Überwiegend wurden hierbei Projektentwickler sowie Wohnbaugenossenschaften befragt. Darüber hinaus wurden auch vereinzelt planende Baumeister und Architekten zu diesem Thema interviewt. Der Fragebogen bestand sowohl aus offenen als auch aus geschlossenen Fragestellungen. Die geschlossenen Fragen wurden quantitativ ausgewertet. Hingegen wurden die offenen Fragen transkribiert und anschließend qualitativ ausgewertet.

Die Ergebnisse der Studie umfassen das Interesse an der Holzhybridbauweise sowie die Vor- und Nachteile dieser Bauweise. Außerdem wurden die Themen Qualität, Nachhaltigkeit und integrale Projektabwicklung in Bezug auf die Holzhybridbauweise erörtert.

Schlagwörter: Holzhybridbauweise, industrielle Vorfertigung, Nachhaltigkeit, kooperative Projektabwicklung, Bau- und Immobilienwirtschaft, Hochbau

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	78
1.1	Definition Holzhybridbauweise.....	78
1.1.1	Abgrenzung zur konventionellen Bauweise.....	79
2	Empirische Studie zur Holzhybridbauweise.....	79
2.1	Methodik und Interviewpartner	79
2.2	Auswertung der empirischen Untersuchung	80
2.2.1	Angaben zu den untersuchten Unternehmen	80
2.2.2	Allgemeine Einschätzungen zur Holzhybridbauweise	81
2.2.3	Integrale Projektabwicklung.....	82
2.2.4	Qualität	84
2.2.5	Nachhaltigkeit	85
2.2.6	Vorteile der Holzhybridbauweise.....	85
2.2.7	Nachteile der Holzhybridbauweise.....	87
3	Zusammenfassung.....	89
4	Literaturverzeichnis	90

1 Einleitung

Das Thema Klimawandel nimmt auch in der Bau- und Immobilienwirtschaft einen immer größeren Stellenwert ein. Zunehmend wird auf eine Reduktion der mit dem Bau verbundenen CO₂-Emissionen geachtet.

Eine Möglichkeit zur Reduktion der Emissionen im Zuge der Errichtung von Hochbauten ist die vermehrte Verwendung von nachwachsenden Baustoffen, wie z.B. Holz. Da Holz aufgrund seiner Materialeigenschaften nicht die gleiche Tragfähigkeit besitzt wie andere Baustoffe, kommt bei großen Spannweiten oder hohen Gebäuden zunehmend die Holzhybridbauweise zum Einsatz. Bei dieser Bauweise erfolgt eine Verstärkung der Holzkonstruktion durch Stahl- oder Betonelemente.

In den letzten Jahren wurde die Holzhybridbauweise immer bekannter.

Da eine Literaturrecherche zur Holzhybridbauweise in Österreich keine zufriedenstellenden Ergebnisse lieferte, wurde eine empirische Untersuchung erforderlich.

Im Rahmen dieses Artikels soll daher die empirische Untersuchung zur Holzhybridbauweise, insbesondere unter Berücksichtigung von vorgefertigten Systembauteilen in Holzhybridbauweise, für den österreichischen Wohnungs- und Bürobau erörtert werden.

Gegenstand dieses Artikels sind die Einschätzungen der Experten zur Holzhybridbauweise, insbesondere deren Qualität und Nachhaltigkeit. Außerdem werden die Vor- und Nachteile der Holzhybridbauweise im Vergleich zur konventionellen Ausführung diskutiert. Überdies wird auf eine integrale Planung bzw. kooperative Projektabwicklung unter Berücksichtigung einer entsprechenden Vorfertigung in Holzhybridbauweise eingegangen.

1.1 Definition Holzhybridbauweise

Der Begriff Holzhybridbauweise kann unterschiedlich interpretiert werden, sodass eine einheitliche Begriffsdefinition für die nachfolgende Arbeit notwendig ist.

Der Begriff „Hybrid“ stammt aus dem Lateinischen von „hybrida“ und entspricht den Bedeutungen „Mischung“ bzw. „Gebilde aus zwei oder mehreren Komponenten“. [1]

Die Bezeichnung Holzhybridbauweise bezieht sich in dieser Arbeit auf die Verwendung von unterschiedlichen Materialien, insbesondere Holz in Kombination mit Beton. Hierbei übernehmen die beiden genannten Baustoffe die statischen Lasten gemeinsam. Ziel dieser Verbindung ist es, die positiven Eigenschaften beider Baustoffe in einer Bauweise zu kombinieren. Holz gilt als nachhaltiger Baustoff, da dieser CO₂ speichert, anstatt zu emittieren. Stahlbeton ist als kostengünstiger und tragfähiger Baustoff stark verbreitet und in Österreich etabliert. Ebenso spricht ein hoher Vorfertigungsgrad für den Einsatz von Holzhybridelementen.

In der Materialwissenschaft besteht ein hybrides Material zumindest aus zwei Bestandteilen, welche auf der molekularen Ebene miteinander verbunden sind. [2, S. 4] Bei der Holzhybridbauweise werden die einzelnen Elemente jedoch nicht auf molekularer Ebene miteinander verbunden, sodass per materialwissenschaftlicher Definition kein hybrides Material vorliegt.

Folglich wird in dieser Arbeit der Begriff Holzhybridbauweise für sämtliche Bauweisen verwendet, in denen Holz als vorrangiger Baustoff in Kombination mit Beton zur Errichtung von Hochbauten genutzt wird, ohne das Holz und Beton auf molekularer Ebene verbunden werden.

Die hier beschriebene Holzhybridbauweise wird in der Bau- und Immobilienbranche auch als Holzverbundbauweise (Verbundbaustoff) bezeichnet.

1.1.1 Abgrenzung zur konventionellen Bauweise

Um die Holzhybridbauweise korrekt mit der konventionellen Bauweise vergleichen zu können, ist auch die Definition der konventionellen Bauweise vorab notwendig.

Im Rahmen dieses Artikels werden unter der konventionellen Bauweise das Bauen mit Stahlbeton bzw. die Ziegel-Massivbauweise verstanden. Zumeist werden die Bauwerke mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) gedämmt. Die Planung erfolgt zum Teil baubegleitend, auf den Einsatz von modernen Planungsmethoden, wie BIM, wird oftmals verzichtet.

2 Empirische Studie zur Holzhybridbauweise

In diesem Kapitel wird zunächst die Methodik der empirischen Studie zur Holzhybridbauweise im Wohnungs- und Bürobau in Österreich erörtert. Anschließend werden die Ergebnisse dieser empirischen Untersuchung dargestellt.

2.1 Methodik und Interviewpartner

Im Rahmen dieser empirischen Studie wurden mit Hilfe eines vorgefertigten Fragebogens insgesamt 43 österreichische Unternehmen zur Holzhybridbauweise befragt. In Summe wurden 99 Unternehmen zur Teilnahme an der Studie eingeladen. Die Rücklaufquote an verwertbaren Fragebögen beläuft sich somit auf 43,4% der Anfragen.

Die befragten Unternehmen sind den nachstehenden Branchen zuzuordnen:

- 35 Projektentwickler bzw. Bauträger
- 4 Wohnbaugenossenschaft
- 2 planende Baumeister
- 1 Architekturbüro
- 1 Holzbauunternehmen im Systembau

Nachfolgende Bundesländer waren in der Studie durch Interviewpartner vertreten:

- Steiermark mit 17 Unternehmen
- Wien mit 13 Unternehmen
- Oberösterreich mit 7 Unternehmen
- Vorarlberg mit 4 Unternehmen

- Niederösterreich mit einem Unternehmen
- Tirol ebenfalls mit einem Unternehmen

Der Fragebogen bestand sowohl aus offenen als auch aus geschlossenen Fragestellungen. Die geschlossenen Fragen wurden quantitativ ausgewertet. Hingegen wurden die offenen Fragen transkribiert und anschließend qualitativ ausgewertet.

Da sich die Studie auf mögliche Auftraggeber fokussieren sollte, wurden überwiegend Projektentwickler bzw. Bauträger sowie Wohnbaugenossenschaften befragt. Darüber hinaus wurden auch vereinzelt planende Baumeister und Architekten zu diesem Thema interviewt.

2.2 Auswertung der empirischen Untersuchung

In diesem Kapitel erfolgt die empirische Auswertung der 43 vollständig beantworteten Interviewfragebögen.

2.2.1 Angaben zu den untersuchten Unternehmen

In der nachfolgenden Abbildung (Abb. 2-1: Anzahl der bereits umgesetzten Projekte in Holzhybridbauweise durch die interviewten Unternehmen) ist die Anzahl der bereits umgesetzten Projekte in Holzhybridbauweise durch die interviewten Unternehmen ersichtlich.

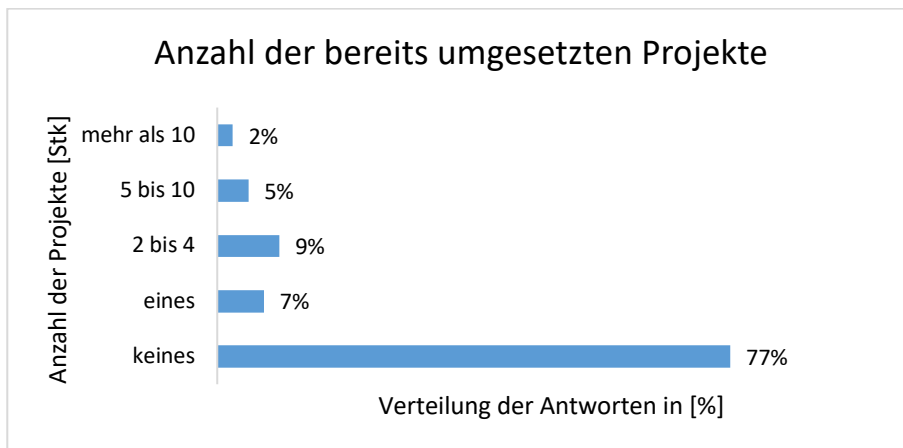


Abb. 2-1: Anzahl der bereits umgesetzten Projekte in Holzhybridbauweise durch die interviewten Unternehmen

In etwa 77% der befragten Unternehmen haben noch kein Projekt in Holzhybridbauweise verwirklicht. Das heißt ca. 23% haben mit der untersuchten Bauweise bereits Erfahrungen gesammelt.

Von den untersuchten Unternehmen haben sieben im Wohnbau und zwei im Wohn- und Bürobau Projekte in Holzhybridbauweise realisiert. Ein Unternehmen hat auch andere Nutzungsarten in Holzhybridbauweise projektiert.

2.2.2 Allgemeine Einschätzungen zur Holzhybridbauweise

In der untenstehenden Abbildung ist die Verteilung der Antworten der befragten Unternehmen hinsichtlich des Interesses an der Holzhybridbauweise ersichtlich.

In etwa zwei Drittel der interviewten Unternehmen empfinden die Holzhybridbauweise als sehr interessant bzw. interessant. Ein Drittel zeigt sich eher wenig interessiert bzw. gar nicht interessiert an dieser Bauweise.

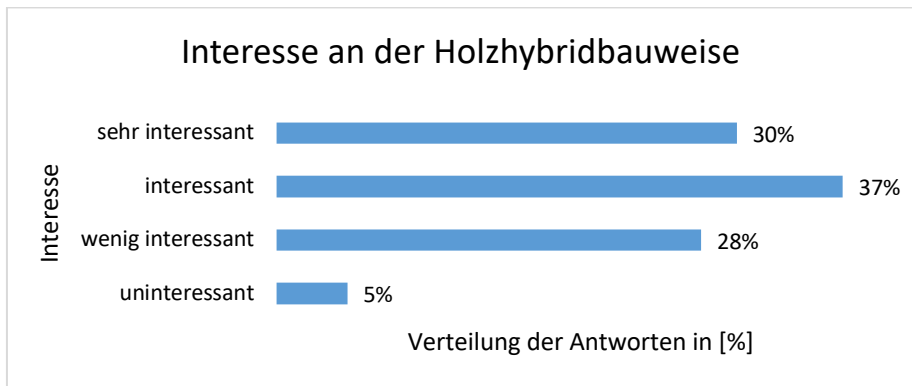


Abb. 2-2: Interesse an der Holzhybridbauweise

Vergleicht man diese Antworten mit der Anzahl an Unternehmen die bereits Projekte mit der Holzhybridbauweise umgesetzt haben (ca. 23% der befragten Unternehmen), sollte künftig grundsätzlich eine verstärkte Nachfrage dieser Bauweise gegeben sein.

Im Rahmen der Studie wurden die Unternehmen ebenso dazu befragt, für welche Projekte (bzw. Nutzungsarten) sich die Holzhybridbauweise eignet. In der nachstehenden Abbildung Abb. 2-3: Für die Holzhybridbauweise geeignete Nutzungsarten²⁻³) ist das Ergebnis dieser Abfrage dargestellt. Circa 70% der befragten Unternehmen erachten die Holzhybridbauweise für den Wohnbau geeignet. In etwa zwei Drittel der Interviewpartner befinden diese Bauweise für den Bürobau als geeignet. Lediglich ein Unternehmen sieht keine sinnvolle Anwendung der Holzhybridbauweise.

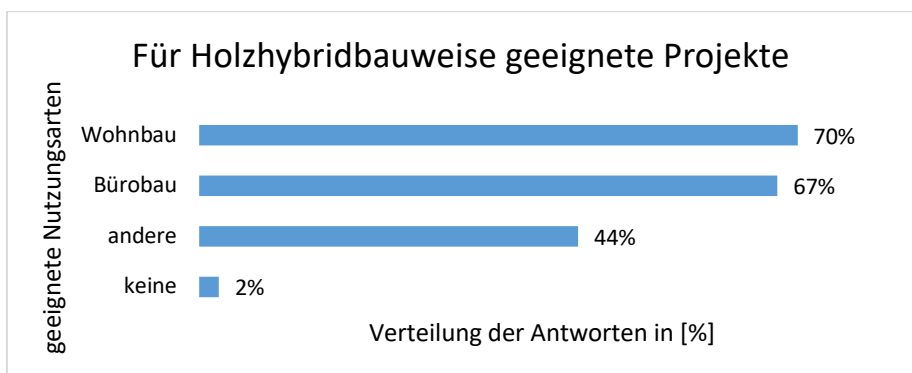


Abb. 2-3: Für die Holzhybridbauweise geeignete Nutzungsarten

Anmerkung: Ein Interviewpartner hielt fest, dass die Holzhybridbauweise für Büros und Wohngebäude ab 6 Geschossen empfehlenswert ist. Unter 6 Geschossen empfiehlt dieser eine reine Holzbauweise (z.B. Holz-Riegel-Bauweise oder Massivholz).

Darüber hinaus haben 44% der befragten Unternehmen andere Nutzungsarten, für welche die Holzhybridbauweise aus ihrer Sicht geeignet wäre, angegeben.

In der nächsten Abbildung (Abb. 2-4: Andere geeignete Nutzungsarten 2-4) sind die zusätzlich genannten Nutzungsarten sowie deren Antworthäufigkeit in Prozent angeführt.

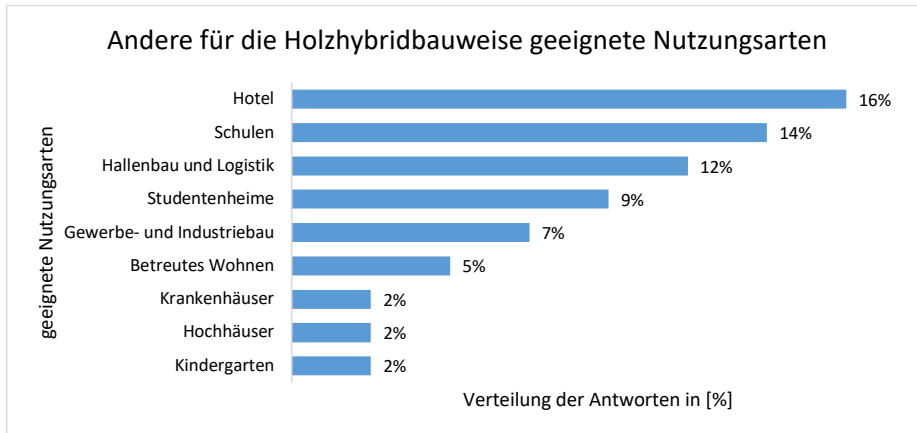


Abb. 2-4: Andere geeignete Nutzungsarten

Demnach ist die Holzhybridbauweise ebenso für den Hotelbau, für Schulbau, Hallen- und Logistikbau sowie Bau von Studentenheimen geeignet.

2.2.3 Integrale Projektabwicklung

Aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades der Holzhybridbauweise ist es empfehlenswert eine integrale Projektabwicklung bzw. einen integralen Planungsprozess zu forcieren.

In der nachstehenden Abbildung ist ein Vergleich zwischen dem konventionellen und integralen Projektabwicklungsprozess¹ ersichtlich. Der obere Teil der Grafik beschreibt den konventionellen Projektabwicklungsprozess, der untere Teil stellt den integralen Prozess schematisch dar.

Bei der herkömmlichen Planungsabwicklung findet ein Trennungsprinzip zwischen der Planung und der Ausführung statt. Das heißt, dass die ausführenden Unternehmen nicht in den Planungsprozess eingebunden werden und somit ihr Know-how auch nicht in die Planung einbringen können. Oftmals sind dadurch baubegleitende Planänderungen notwendig bzw. werden gewisse Teile der Ausführungsplanung erst während der Bauausführung vorgenommen.

Dieser konventionelle Projektabwicklungsprozess verhindert jedoch jegliche industrielle Vorfertigung, was zu Qualitätseinbußen und höheren Kosten führt. [3, S. 145]

¹ siehe dazu auch [9] und [10]

Harrer stellte fest, dass Kosten und Qualität eines Hochbauprojektes stark durch die Einbindung des Ausführenden beeinflusst werden. [4, S. 184]

Bei der integralen Projektentwicklung hingegen werden die ausführenden Unternehmen (bzw. Systemanbieter) mit ihrem Know-how bereits in den Planungsprozess einbezogen. Somit kann eine Planung auf das jeweilige System des Anbieters abgestellt werden, womit der Planungsprozess effizienter (ohne wiederkehrende Planungsaufgaben bzw. Änderungen) ablaufen kann. Geplant wird hierbei überwiegend mittels Building Information Modeling (BIM).

Building Information Modeling ist eine Methode der Bauwerksmodellierung und der vernetzten, softwarebasierten Planung. Im Unterschied zu klassischer Planungssoftware bieten BIM-Programme mehr als eine reine digitale Planung. BIM ermöglicht die Kollaboration zwischen Planern, indem an einem gemeinsamen digitalen Zwilling des Gebäudes gearbeitet wird. [5, S. 6]

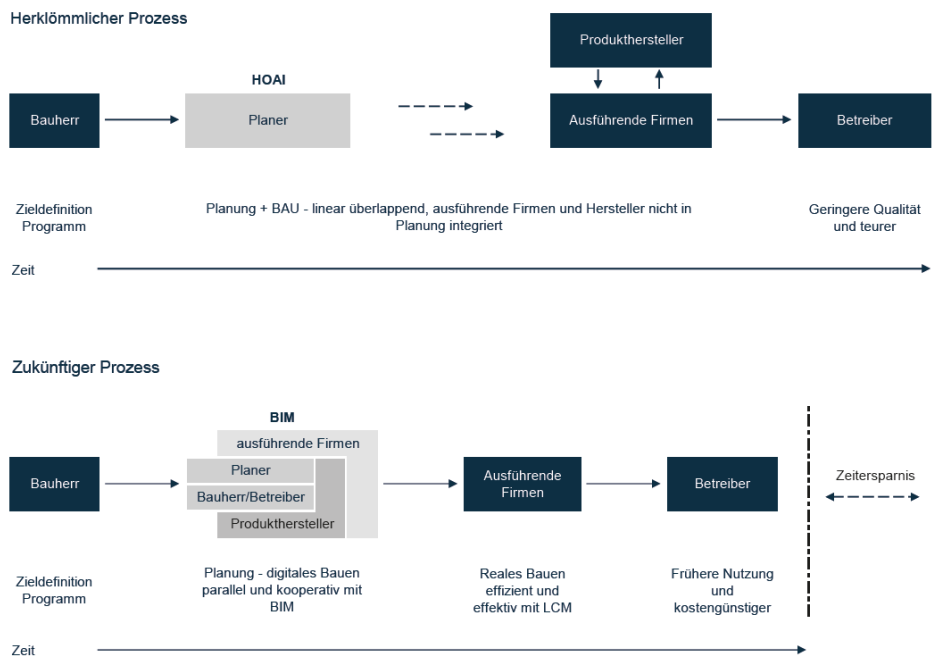


Abb. 2-5: Vergleich Projektentwicklungsformen [3, S. 144]

Die Zusammenarbeit der Vertragspartner während der Planungsphase stellt ein zentrales Merkmal für die partnerschaftliche Abwicklung von Bauprojekten dar. Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile basieren darauf, dass vorhandene Kompetenzen bestmöglich (bzw. frühestmöglich) genutzt werden. Ziel ist es bereits während der Planungsphase ein kollegiales Zusammenarbeiten zu forcieren. [6, S. 177]

Durch Anwendung der integralen Projektentwicklung wird eine bessere Qualität als bei der konventionellen Planung erreicht. Zudem verkürzt sich dadurch die Projektlaufzeit. [3, S. 145]

Rockenbauer zeigt in seiner Forschungsarbeit moderne Planungsmethoden unter Berücksichtigung des Lean Managements auf Abb. 2-5: Vergleich Projektabwicklungsformen [3, S. 144] b. 2-5. Lean Construction Management (LCM) genannt). [7]

Für das industrielle Bauen bzw. die Ausführung in Holzhybridbauweise ist die integrale Projektabwicklung geeignet.

Daher wurde im Zuge der empirischen Studie die gewünschte Projektabwicklungsform der Unternehmen abgefragt.

In etwa 88% der Interviewpartner erachten eine integrale Projektabwicklung als sinnvoll. Lediglich 12% wünschen sich eine Trennung von Planung und Ausführung (Trennungsprinzip).

Anmerkung: Ein Interviewpartner gab bekannt, dass die Trennung von Planung und Ausführung bei konventionellen Bauvorhaben seines Unternehmens bevorzugt zur Anwendung kommt, jedoch im Systembau, wie z.B. bei der Holzhybridbauweise, eine integrale Projektabwicklung notwendig ist und somit eine Ausnahme darstellt.

2.2.4 Qualität

Hinsichtlich Qualität wurden die Unternehmen befragt, ob die industrielle Vorfertigung in Form einer Holzhybridbauweise einen qualitativen Vorteil gegenüber der konventionellen Ausführung bietet.

In der Abbildung 2-6: Qualitativer Vorteil durch industrielle Vorfertigung in Form einer Holzhybridbauweise (Abb. 2-6) ist die Verteilung der Antworten der Interviewpartner zu dieser Frage ersichtlich.

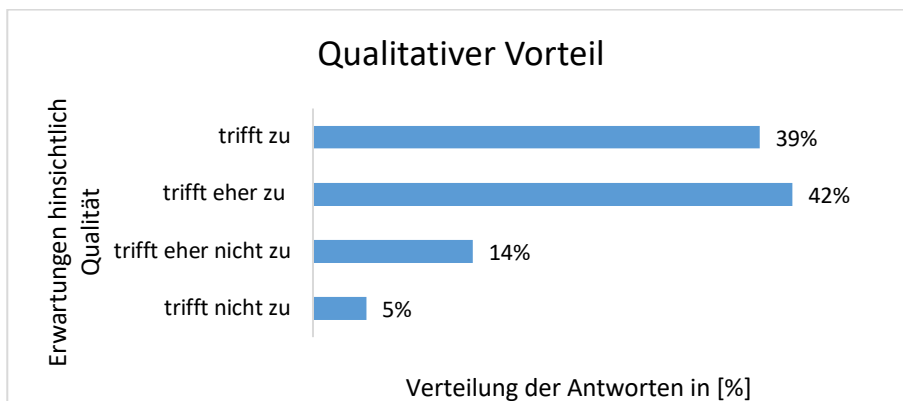


Abb. 2-6: Qualitativer Vorteil durch industrielle Vorfertigung in Form einer Holzhybridbauweise

39% der interviewten Unternehmen erwarten, dass die industrielle Vorfertigung in Form einer Holzhybridbauweise einen qualitativen Vorteil gegenüber der konventionellen Ausführung bietet. 42% der Interviewpartner geben an, dass sie eher mit einer höheren Qualität dank der Vorfertigung in Holzhybridbauweise rechnen. Lediglich 19% der Studienteilnehmer erachten diesen Vorteil als eher nicht (14%) bzw. nicht gegeben (5%).

Angemerkt sei, dass das Fehlen eines qualitativen Vorteils noch nicht zwingend einen qualitativen Nachteil bedeutet (z.B. Gleichwertigkeit).

2.2.5 Nachhaltigkeit

Als eines der vordergründigen Argumente für die Verwendung von Holz als Baustoff gilt die Nachhaltigkeit, denn Holz bindet CO₂, anstatt dieses zu emittieren.

Daher wurden im Zuge der empirischen Studie die Unternehmen befragt, ob aus ihrer Sicht die Holzhybridbauweise eine nachhaltige Alternative zur konventionellen Ausführung darstellt.

Die Verteilung der gegebenen Antworten zu dieser Fragestellung ist der nachfolgenden Abb. 2-7: Holzhybridbauweise als nachhaltige Alternative zur konventionellen Ausführung – Einschätzung der Interviewpartner (Abb. 2-7) zu entnehmen.

Fast die Hälfte (46%) der befragten Unternehmen erachten die Holzhybridbauweise als eine nachhaltige Alternative zur konventionellen Ausführung. Für ein Drittel der Interviewpartner trifft dies eher zu. In etwa 14% gaben an, dass die Holzhybridbauweise eher keine nachhaltige Alternative ist. Bloß 7% der Studienteilnehmer sehen keinen Vorteil hinsichtlich der Nachhaltigkeit einer Holzhybridbauweise.

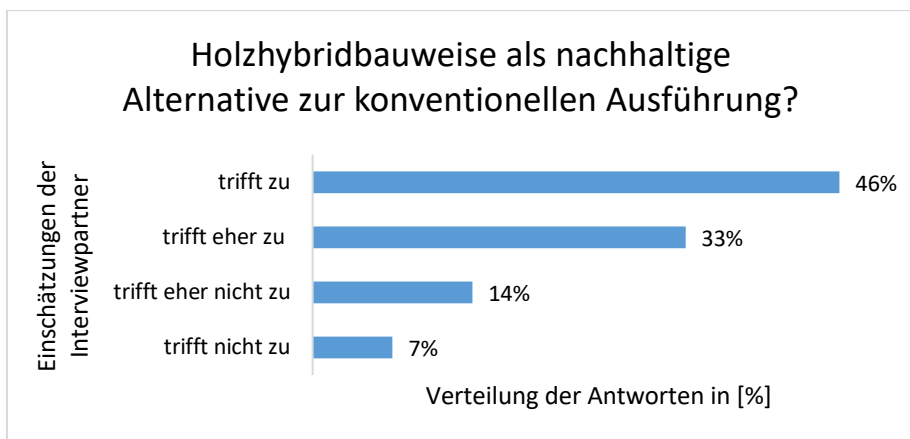


Abb. 2-7: Holzhybridbauweise als nachhaltige Alternative zur konventionellen Ausführung – Einschätzung der Interviewpartner

Anmerkung: Ein Interviewpartner (dessen Antwort: trifft nicht zu) gab an, dass Verbundbaustoffe im Sinne der Kreislaufwirtschaft nicht nachhaltig sind. Bei der Holzhybridbauweise werden sortenreine Baustoffe, wie Holz und Beton, miteinander verbunden (ähnlich wie bei einem WDVS). Der wesentliche Vorteil von Holz als nachhaltiger Baustoff würde sich dadurch relativieren.

2.2.6 Vorteile der Holzhybridbauweise

In diesem Kapitel sollen nun die Vorteile, die von den Experten in der qualitativen Befragung (mittels offener Fragen) erhoben wurden, diskutiert werden.

Die nachstehende Abbildung (Abb. 2-8) beschreibt die Antworthäufigkeit der sechs am häufigsten genannten Vorteile der Holzhybridbauweise im Vergleich zu konventioneller Bauweise.

Somit erachten 60% der Interviewpartner die kürzere Bauzeit als Vorteil der Holzhybridbauweise im Vergleich zur konventionellen Bauweise.

Angemerkt sei, dass dieser Vorteil am häufigsten genannt wurde, man also von dem Vorliegen des Vorteils ausgehen kann, auch wenn dies noch keine Aussage über die Bedeutung des Vorteils impliziert. Denn für eine Vielzahl der Studienteilnehmer (bzw. Auftraggeber) ist die Kostenbetrachtung wesentlich bedeutender als die Terminbetrachtung. Dies nochmals verstärkt durch die aktuelle Niedrigzinspolitik.

Mehr als die Hälfte (51%) der befragten Experten erachten die Holzhybridbauweise als nachhaltige Alternative zur konventionellen Bauweise. Nachhaltigkeit bezieht sich in diesem Kontext überwiegend auf die CO₂-Bilanz der jeweiligen Bauweise.

Dies beruht auf der Tatsache, dass bei der Verwendung von Holz als Baustoff andere CO₂-intensive Baustoffe substituiert werden, gleichzeitig CO₂ gespeichert, anstatt emittiert wird.

Anmerkung: Ein gewichtiges Argument gegen die Nachhaltigkeit der Holzhybridbauweise ist die eingeschränkte Trennbarkeit und Wiederverwendbarkeit (Kreislaufwirtschaft; Recyclingfähigkeit) der beiden dauerhaft mechanisch verbundenen Baustoffe, Holz und Beton. Hier wäre ein reiner Holzbau vorteilhafter. Dieser ist jedoch nur bis zu einer gewissen Höhe von Gebäuden statisch möglich, womit die Holzhybridbauweise ab dieser Höhe bei einer gewünschten CO₂-Einsparung derzeit konkurrenzlos zu sein scheint.

Außerdem gehen einige Experten von einer erschwerten Änderung der Nutzung von Immobilien in Holzhybridbauweise aus, wodurch diese eventuell eine kürzere Nutzungsdauer (aufgrund fehlender Flexibilität) haben könnten, was dem Anspruch auf Nachhaltigkeit entgegenstehen würde.

In etwa 42% der Interviewpartner nannten den hohen Vorfertigungsgrad als Vorteil der Holzhybridbauweise.

Ein hoher industrieller Vorfertigungsgrad hat eine Vielzahl an Vorteilen, wie z.B.:

- Höhere Qualität und consequentere Qualitätssicherung
- Attraktivere Arbeitsbedingungen und dadurch höhere Zufriedenheit der Arbeitnehmer im Werk (eventuelle wäre das eine Antwort auf den vorherrschenden Fachkräftemangel)
- Witterungsunabhängige Fertigung
- Höhere Arbeitssicherheit im Werk als auf der Baustelle (auch wenn Versetzarbeiten gefährliche Arbeitsvorgänge darstellen)
- Beitrag zu einer sauberen und staubfreien Baustelle
- Möglichkeit bzw. Beitrag zur Digitalisierung
- Eventuell unterstützender Einsatz von Automatisierungstechnik
- Kürzere Bauzeit

Circa 12% der Experten erachten die Holzhybridbauweise besonders für die Nachverdichtung geeignet, dies aufgrund ihres geringen Gewichtes und der damit verbundenen großen Spannweiten. Außerdem ist eine kurze Bauzeit im Bestand besonders von Bedeutung.

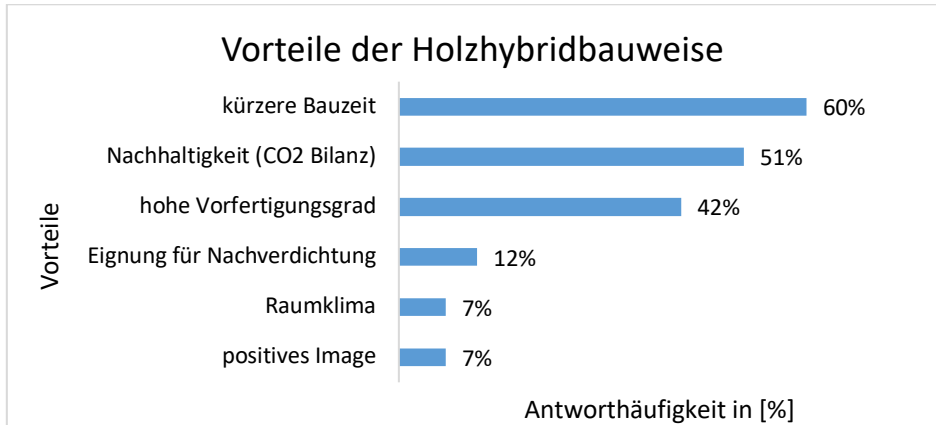


Abb. 2-8: Genannte Vorteile der Holzhybridbauweise und deren Antworthäufigkeit

Darüber hinaus nannten die Experten vereinzelt folgende Vorteile:

- Nachweislich gesünderes Raumklima
- Positives Image bzw. gute Reputation der Unternehmung
- Positive Kundeneinstellung
- Effizienter Nutzflächenfaktor

2.2.7 Nachteile der Holzhybridbauweise

Nach den Vorteilen werden in diesem Unterkapitel die im Rahmen der qualitativen Expertenbefragung am häufigsten genannten Nachteile der Holzhybridbauweise im Vergleich zu konventionellen Bauweise erörtert.

Die nachstehende Abb. 2-9: Genannte Nachteile der Holzhybridbauweise und deren Antworthäufigkeit (Abb. 2-9) beschreibt diese Nachteile und deren Antworthäufigkeit durch die Experten in Prozent.

Die Mehrzahl (60%) der Interviewpartner erachtet die höheren Kosten für die Holzhybridbauweise als wesentlichen Nachteil gegenüber der konventionellen Bauweise.

Zusätzlich teilen zwei der Interviewpartner (ca. 5%) die Meinung, dass ihre Kunden nicht bereit wären, Mehrkosten für diese alternative Bauweise zu tragen.

Ebenso rechnen zwei Experten mit erhöhten Instandhaltungskosten aufgrund der Ausführung in der Holzhybridbauweise.

Mehr als ein Drittel aller Befragten erachtet die bauphysikalischen Anforderungen bei der Holzhybridbauweise als nicht gewährleistet.

In etwa 37% der Interviewpartner haben hierbei Sorge hinsichtlich des Feuchteschutzes, insbesondere im Falle eines eventuellen Wasserschadens bzw. vor Schäden verursacht durch unerwünschte Dampfdiffusion. Aus Sicht von Versicherungen stellt diese Schadensgeignetheit ein Risiko dar.

Circa 35% der Befragten sehen den Schallschutz bei der Holzhybridbauweise kritisch. Aufgrund der geringeren Masse der Bauweise kann der Tritt- und Körperschall vermehrt zu einem Problem werden, dies abhängig von der jeweiligen Nutzung.

Ebenso ca. 35% der Befragten erachten den Brandschutz bei der Holzhybridbauweise als kritisch. Dies betrifft vor allem den Hochhausbau in Wien. Hier werden insbesondere die unklaren Angaben der Behörde hinsichtlich des Brandschutzes abhängig von der Geschossigkeit kritisiert. Eine Harmonisierung der Baugesetze wird weiterhin gefordert. Aufgrund der komplexen bauphysikalischen Situation müssen aufwendigere Detailplanungen vorgenommen werden.

Für ein Drittel der befragten Unternehmen stellt die fehlende Erfahrung mit der Holzhybridbauweise einen Nachteil dar. Hierbei fehlt einerseits den Auftraggebern selbst das Know-how zu dieser Bauweise. Sie können oftmals weder die Kosten noch die Ertragschancen bei einer Ausführung in Holzhybridbauweise einschätzen. Andererseits fehlt es auch den Planern und ausführenden Unternehmen (wie z.B. Installateuren) an Erfahrung mit der untersuchten Bauweise.

Fast ein Viertel (23%) der Interviewpartner erachten die eingeschränkte Trennbarkeit und Wiederverwendbarkeit (Kreislaufwirtschaft; Recyclingfähigkeit) der beiden dauerhaft mechanisch verbundenen Baustoffe, Holz und Beton, als wesentlichen Nachteil dieser Bauweise. Zukünftig wird die Wiederverwendbarkeit von Materialien an Bedeutung gewinnen, Verbundbaustoffe sind jedoch schwierig zu trennen. Daher betrachten einige Experten diese Bauweise nicht als nachhaltige Alternative.

Circa 14% der Interviewpartner bedauern überdies den kleineren Bieterkreis bei der Ausführung und Planung der Holzhybridbauweise. Weitere Anbieter würden eventuell auch zu mehr Nachfrage bei den Auftraggebern führen.

Aufgrund der geringeren Masse der Holzhybridbauweise im Vergleich zur konventionellen Bauweise nennen ca. 9% der Befragten den sommerlichen Wärmeschutz als Thematik der Holzhybridbauweise.

Zwei Experten wünschen sich daher explizit die Möglichkeit einer Bauteilaktivierung bei der Ausführung in Holzhybridbauweise. Die thermische Bauteilaktivierung kann von einem Niedrigenergiesystemen (wie z.B. Geothermie) gespeist werden und trägt zur Energieflexibilisierung bei. [8, S. 3 ff.] Vor allem im Bürobau wird die Kühlung über eine thermische Bauteilaktivierung immer stärker nachgefragt.

Außerdem bemängeln in etwa 9% der Auftraggeber die fehlende Kundennachfrage nach Immobilien in Holzhybridbauweise. Ebenso gehen 9% der befragten Unternehmen davon aus, dass die potentiellen Käufer die Holzhybridbauweise nicht als gleichwertig zur konventionellen Bauweise erachten.

Weiters nannten die Experten vereinzelt folgende Nachteile der Holzhybridbauweise:

- Tragfähigkeit
- Kein reiner Holzbau, daher Kompromisslösung
- Eingeschränkte Architektur
- Geringe Flexibilität während der Bauphase
- Einfluss auf den Wert der Immobilie schwer abschätzbar
- Fehlendes Vertrauen in Holz

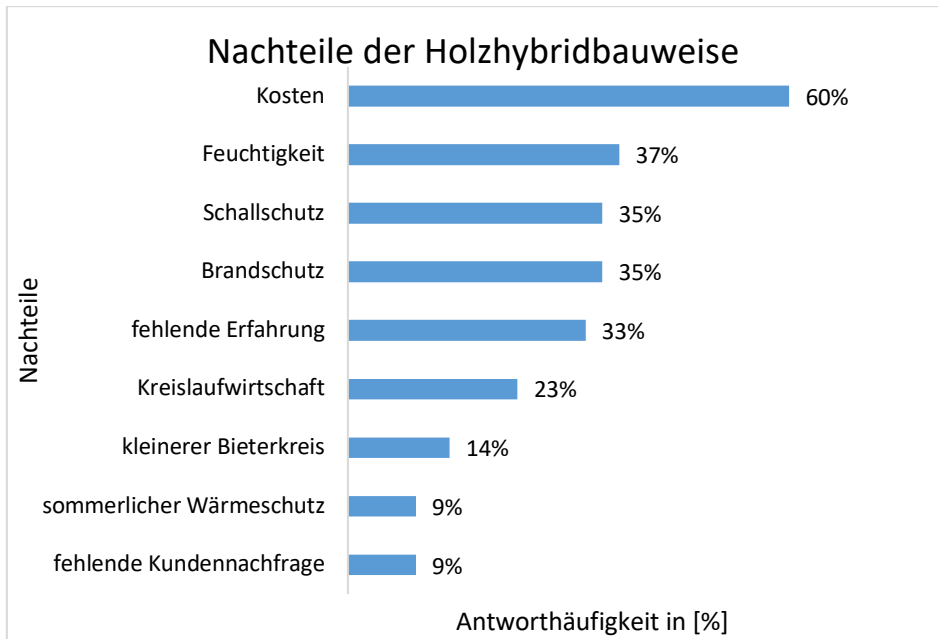


Abb. 2-9: Genannte Nachteile der Holzhybridbauweise und deren Antworthäufigkeit

3 Zusammenfassung

Die Untersuchung zeigt, dass bislang erst 23% der Befragten Projekte in Holzhybridbauweise umgesetzt haben, 77% jedoch noch über keine Praxiserfahrung verfügen. Seitens der Auftraggeber besteht unabhängig davon ein grundsätzliches Interesse an der Holzhybridbauweise. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass diese Bauweise künftig verstärkt nachgefragt wird.

Etwaige klimapolitische Maßnahmen (z.B. CO₂-Bepreisung) würden die Nachfrage nach CO₂ärmeren Bauweisen, wie der Holzhybridbauweise, nochmals incentivieren.

Der Markt wünscht sich jedoch eine höhere Standardisierung bei Detaillösungen der Holzhybridbauweise, dies hinsichtlich bauphysikalischer Anforderungen (Feuchtigkeits-, Schall- und Brandschutz sowie Schutz vor sommerlicher Überwärmung). Die erhöhte Standardisierung soll die Anforderungen kostengünstig sicherstellen.

Die Holzhybridbauweise wird unter den alternativen Bauweisen für Büros und Wohngebäude ab 6 Geschossen empfohlen. Unter 6 Geschossen ist eine reine Holzbauweise (z.B. Holz-Riegel-Bauweise oder Massivholz) vorteilhafter.

Die Holzhybridbauweise ist ebenso für andere Nutzungsformen, wie Hotels, Schulen, Logistikhallen oder Studentenheime, geeignet.

Als Vorteile der Holzhybridbauweise werden durch die industrielle Vorfertigung höhere Kosten- und Termsicherheit, verkürzte Bauzeiten, höhere Fertigungsqualität, verbesserte Qualitätssicherung, bessere Arbeitsbedingungen, witterungsunabhängige Fertigung und erhöhte Arbeitssicherheit genannt.

Für das industrielle Bauen bzw. die Ausführung in Holzhybridbauweise ist eine integrale Projektabwicklung zielführend und zu forcieren.

Die Planung sollte durchgängig mittels BIM erfolgen. Anhand Digitalisierung, Lean Management und Automatisierung soll die Effizienz der industriellen Fertigung weiter gesteigert werden.

Auch die Reduktion der CO₂-Emissionen dank der Verwendung von nachwachsenden Baustoffen wird von knapp mehr als der Hälfte der Studienteilnehmer als Vorteil gewertet.

Das Thema Nachhaltigkeit wird in Bezug auf CO₂-Einsparungen durch vermehrten Einsatz von Holz positiv, jedoch in Bezug auf die Recyclingfähigkeit von Verbundbaustoffen kritisch diskutiert. Die Wiederverwendbarkeit von Materialien wird künftig an Bedeutung gewinnen. Da Verbundbaustoffe schwierig zu trennen sind, ist für die Recyclingfähigkeit der Holzhybridbauweise eine Lösung zu finden und zu kommunizieren. Ein Drittel der Befragten sieht es als Nachteil, dass sie selbst, aber auch Planer und Ausführende, noch keine bzw. wenig Erfahrung mit der Holzhybridbauweise haben. Circa 14% der Interviewpartner bedauern überdies den kleineren Bieterkreis bei der Ausführung und Planung der Holzhybridbauweise. Weitere Anbieter würden eventuell auch zu mehr Nachfrage bei den Auftraggebern führen.

4 Literaturverzeichnis

[1] [Online]. verfügbar: DUDEN: Online. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Hybrid>. [Zugriff am 06.09.2021].

[2] G. Kickelbick, Hybrid Materials: Synthesis, Characterization, and Applications, Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2007.

[3] H. Sommer, Projektmanagement im Hochbau mit BIM und Lean Management. 4. Auflage, Stuttgart, Deutschland: Springer Vieweg, 2016.

[4] E. Harrer, Kooperative Projektentwicklung und deren Auswirkung auf den Wert von Immobilien. Dissertation, TU Graz, 2020.

[5] M. BALDWIN, Der BIM-Manager: Praktische Anleitung für das BIM-Projektmanagement. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Berlin: Beuth Verlag, 2018.

-
- [6] D. EHMANN und M. HABENBACHER, „Partnerschaftliche Abwicklung von Bauprojekten,“ in Seminarreihe Bauunternehmensführung 2018: Theorie-Perspektiven-Standpunkte, G. MAUERHOFER und C. GUTSCHE, Hrsg., Graz, Verlag der Technischen Universität Graz, 2018.
- [7] K. P. Rockenbauer, Einführung von LEAN Management in einem modernen Bauplanungssystem. Masterarbeit, TU Graz, 2020.
- [8] Klima- und Energiefonds (Hrsg.), Leitfaden für Planungsdienstleistungen. Energieflexibilität durch thermische Bauteilaktivierung, Wien, 2020.
- [9] Österreichische Bautechnik Vereinigung (Hrsg.), Merkblatt. Kooperative Projektabwicklung, Wien: ÖBV, 2018.
- [10] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Partnering bei Bauprojekten, Berlin, 2005.

Attraktivitätssteigerung der Bauleitung durch die Arbeitsmethode ‚New Work‘

*Robin Becker*¹, *Maïke Eilers*², *Nane Roetmann*³, *Vanessa Jobst-Jürgens*⁴, *Prof. Manfred Helmus*⁵

¹ Bergische Universität Wuppertal, rbecker@uni-wuppertal.de

² Bergische Universität Wuppertal, eilers@uni-wuppertal.de

³ Bergische Universität Wuppertal, roetmann@uni-wuppertal.de

⁴ List AG, vanessa.jobst-juergens@list-ag.de

⁵ Bergische Universität Wuppertal, helmus@uni-wuppertal.de

Kurzfassung

Bauen ist in Deutschland Tradition und Zukunft. Doch wie kann der Beruf der Bauleitung zukünftig an Attraktivität gewinnen? Unter Beachtung der Entwicklungen des Nachwuchskräftemangels und der steigenden Bedeutung der Arbeitnehmerflexibilität, sind Angebote für die Bauleitung hin zur ‚Modernen Bauleitung‘ zwingend notwendig. Der folgende Beitrag stellt den Status Quo des Berufs sowie sein Image dar und verknüpft sie mit den Ergebnissen einer aktuellen Umfrage unter Studierenden zu Ihren Berufswünschen und Berufserfahrungen für den Bereich Bauleitung. Zeitgemäße und flexible ‚Arbeitsmodelle‘ sind für die Zukunftsfähigkeit von kleinen und mittelständischen Unternehmen unumgänglich. Durch das Aufzeigen von Ansatzpunkten kann für die Zukunft eine Steigerung der Vereinbarkeit von Familie und Beruf, die Minimierung des Nachwuchskräftemangels durch die Gewinnung von bspw. Absolventen und Frauen für diesen Beruf sowie die Erzeugung einer positiven Wirkung auf das Image der Bauwirtschaft erzeugt werden. Die Arbeitsmethode ‚New Work‘ wird auf Ihre Potentiale für den Beruf Bauleitung untersucht und kann hier attraktive Möglichkeiten zur Adaption für das Berufsfeld geben. Ziel ist es, durch eine zukunftsfähige und nachhaltige Personalpolitik in der Bauleitung, die Attraktivität im Hinblick auf die zukünftigen Präferenzen und Werte der in Kürze in den Arbeitsmarkt eintretenden Generation zu steigern.

Schlagwörter: Bauleitung, Moderne Bauleitung, Bauwirtschaft, New Work, Arbeitsmethode

Inhaltsverzeichnis

1	Darstellung der Ausgangssituation	94
1.1	Bauleitung.....	94
1.2	New Work.....	95
2	Struktur und Methodik	96
2.1	Methodisches Vorgehen.....	96
2.2	Grundlagen zur Integration von ‚New Work‘.....	97
3	Status Quo: Bauleitung	98
3.1	Das Image der Bauwirtschaft und des Berufsfeldes Bauleitung.....	98
3.2	Aktuelle Trends und Entwicklungen	99
3.3	Ergebnis der Studierendenumfrage	100
4	Dimensionen der Realisierungsmöglichkeiten	103
5	Fazit und Ausblick.....	106
6	Literatur	107

1 Darstellung der Ausgangssituation

Volle Auftragsbücher, steigende Investitionen und eine immer stärker werdende Relevanz als Schlüsselsektor im Kampf gegen den Klimawandel zeichnen derzeit die Bauwirtschaft aus. Sie hat sich als stabiler Arbeitsmarkt und als Instrument zur Bewältigung von gesellschaftlichen Herausforderungen wie dem Wohnraummangel, Infrastrukturausbau sowie des Klimaschutzes etabliert. Der bestehende Fachkräftemangel in der Bauwirtschaft stellt daher im Zuge des demographischen Wandels ein umso größeres Hemmnis dar. [1, S. 6] Dieser betrifft nicht nur das Handwerk im Allgemeinen, sondern auch das Tätigkeitsfeld der Bauleitung. Trotz der stetig steigenden Zahlen von Absolvent:innen im Bauingenieurwesen können die vakanten Stellen nicht ausreichend besetzt werden [2, S. 3-5, 3, S. 36] Lösungsansätze sind kurzfristig für die genannte Problematik herauszuarbeiten. Abhilfe kann hier die Arbeitsmethode ‚New Work‘ bieten.

1.1 Bauleitung

Der Beruf Bauleitung unterliegt einem Wandel. Früher waren ‚Baumeister‘ nur für die technisch-konstruktive Umsetzung des Bauwerkes zuständig. Heute wird von der Bauleitung interdisziplinäres Handeln gefordert. Neben den typischen ingenieurtechnischen Fähigkeiten müssen die Fachkräfte zudem auf den Gebieten Recht, Wirtschaft, Unternehmensführung sowie Mitarbeiterführung Kompetenzen mitbringen. [4, S. 30] Die Bauleitung des Auftragnehmers besitzt die Verantwortung für den Erfolg einer Baustelle. Sie umfasst eine Vielzahl von Einzelaufgaben und -tätigkeiten und wird von Architekten:innen und Ingenieuren:innen ausgeführt. Im Rahmen der Tätigkeit wird die Ausführung eines Bauprojekts durch die Bauleitung auf Übereinstimmung mit den Ausführungsplänen, der Baugenehmigung, der Leistungsbeschreibung u.a. überwacht und koordiniert. Im Bereich der Bauleitung hat der/die Architekt:in/Ingenieur:in insbesondere bei Abnahmen der Bauleistungen, Mangelbeseitigung oder bei der Beurteilung von Nachträgen zudem bei der Planungskoordination, der Vergabe von Leistungen und beim Einkauf zu unterstützen. Die Bauleitung ist Ansprechpartner und Schnittstelle für alle Bereiche auf der Baustelle. Eine weitere Anforderung an die Bauleitung liegt bei der Kommunikation mit dem Auftraggeber und allen weiteren Baubeteiligten. [5, S. 1] Soziale Kompetenzen, Führungskompetenz und die Kommunikationsfähigkeit sind Kernelemente in der Bauleitung. Die sozialen Kompetenzen erlangen für den Beruf einen immer höher werdenden Stellenwert durch die Zunahme an Baubeteiligten und der steigenden Komplexität des Bauens. [6, S. 143]

Vor dem Hintergrund bieten die derzeit existierenden Arbeitsbedingungen in der Bauleitung wenig attraktive Rahmenbedingungen für junge Nachwuchskräfte. „Der überlastete Bauleiter“ [7] – so lautet die Überschrift eines im Jahre 2014 veröffentlichten Artikels in der Immobilien Zeitung zu den Arbeitszuständen der Führungspersonen innerhalb des Baugewerbes. Zurückzuführen sei dieser Umstand vor allem auf die stetig wachsende Anzahl an den bereits erläuterten, zu bewältigenden Aufgaben im Zusam-

menhang mit der Bauausführung bei kontinuierlich kürzeren Ausführungszeiträumen. Die Folge: Arbeitswochen mit weit mehr als 50 Stunden und einer unausgeglichene Work-Life-Balance für die Beschäftigten.

1.2 New Work

Der Umstand des Berufsbildes steht in einem starken Kontrast zu den Vorstellungen eines modernen Arbeitslebens jüngerer Generationen. Für die Führungskräfte von morgen stehen vor allem die Vereinbarkeit von Berufs- und Privatleben und das Erkennen einer Sinnhaftigkeit in ihren Tätigkeiten an erster Stelle, sodass monetäre Anreize allein schon lange nicht mehr zur Mitarbeitergewinnung und -bindung ausreichen. Die Arbeitswelt befindet sich in einer Umbruchphase, deren Anforderungen es angesichts des sogenannten ‚war for talents‘ [8, S. 44] gerecht zu werden gilt. Die sinkende Verfügbarkeit von Arbeitskräften wandelt den Arbeitgeber- zu einem Arbeitnehmermarkt. Ein Großteil der Positionen in der Bauleitung wird aktuell durch die geburtenreiche Generation der Babyboomer (geboren 1950-1967) belegt. Diese Generation wird in wenigen Jahren den Arbeitsmarkt verlassen und deren Positionen müssen neu besetzt werden. [9, S. 469] Bei einem Mangel an nachrückenden Talenten ist dies nicht in Gänze möglich. Gewinner des ‚war for talents‘ [8, S. 44] sind Unternehmen, die es durch intensive Marketing-Maßnahmen und die authentische Erhöhung der Arbeitgeberattraktivität schaffen, neue Talente anzuziehen und die bestehenden Mitarbeitenden zu halten. Eine Möglichkeit bietet hierfür die facettenreiche Arbeitsmethode ‚New Work‘. New Work steht für einen tiefgreifenden Wandel in unserer Arbeitswelt, der durch gesellschaftliche Treiber angestoßen wird. Explizit zu nennen sind an dieser Stelle der bereits angesprochene demografische Wandel, der daraus resultierende Werte- bzw. Generationenwandel und die zunehmende Digitalisierung. [10]

Durch den Eintritt in das Berufsleben der jungen Generationen Z und Y prallen neue Vorstellungen von der Vereinbarkeit von Berufs- und Privatleben auf die etablierten Arbeitsweisen der älteren Generationen X und Babyboomer. „Zeitgleich zum technologischen Wandel erleben wir momentan einen Wertewandel in der Gesellschaft. Arbeit wird immer mehr von der Sinnfrage und dem Bedürfnis nach Selbstverwirklichung getrieben. Unabhängigkeit, Sinnhaftigkeit und Selbstbestimmung sind die neuen Antriebsfedern der jungen Generationen von Arbeitnehmern.“ [10] Ein gutes Arbeitsumfeld ist aber, entgegen der stereotypisierten Vorstellungen der Generationen, ein Bedürfnis, das sich in allen Generationen wiederfindet. Hervorzuheben sind hier die generationenüberschneidenden Bedürfnisse nach zeitlicher Flexibilität, eine gute Kommunikation sowie die Möglichkeit, sich im Unternehmen persönlich und fachlich weiterzuentwickeln. [11] Der Generation Z (geboren 1997-2012) ist zusätzlich eine gelebte Gleichberechtigung im Arbeitsumfeld besonders wichtig.

2 Struktur und Methodik

Der Lösungsansatz zur Integration der Arbeitsmethodik ‚New Work‘ in das Tätigkeitsfeld der Bauleitung wird in einem dreistufigen methodischen Vorgehen umgesetzt. Die Stufen gliedern sich in eine Literaturrecherche, eine Studierendenbefragung sowie die Ausarbeitung der Potentiale von New Work für die Bauleitung. Das Vorgehen orientiert sich an der quantitativen Forschung, welche sich über die theoretischen Wissensbestände und die empirische Datenerhebung einen Realitätsausschnitt erarbeitet. Aus den Erkenntnissen werden Hypothesen abgeleitet und mit der neuen Arbeitsmethode in Verbindung gebracht. [12, S. 18] Ergebnis ist die Definition des Begriffs ‚Bauleitung von morgen‘ mit Darstellung der Potentiale für das Tätigkeitsfeld zur Attraktivitätssteigerung für zukünftige Fachkräfte.

2.1 Methodisches Vorgehen

In der ersten Stufe erfolgt die Analyse des Ist-Zustandes für das Berufsfeld Bauleitung. Hier erfolgt die Darstellung des Images der Bauwirtschaft in der Öffentlichkeit. Im nächsten Schritt werden zunächst die Fakten erhoben, wie beispielsweise Arbeitnehmerzahlen, Stellenvakanzen, Studierendenzahlen sowie aktuelle Entwicklungen des Berufsfelds betreffend. Weiterhin werden Zusammenhänge zwischen dem aktuellen Image und den erhobenen Fakten in Bezug auf die Nachwuchsproblematik dargestellt.

Die zweite Stufe beinhaltet die wissenschaftliche Befragung von Studierenden. Die Studierenden sind aus den Fachbereichen Architektur und Bauingenieurwesen und wurden zur Teilnahme an der Online-Umfrage über die Lehr- und Forschungsgebiete Baubetrieb und Bauwirtschaft der Bergischen Universität Wuppertal eingeladen. Basis der Umfrage ist ein erstellter Leitfaden mit Fragen zu den Erfahrungen der Studierenden in ihrem Hochschul- und Arbeitsalltag, welche beruflichen Tätigkeiten nach Ihrem Abschluss attraktiv sind und welche beruflichen Rahmenbedingungen für Ihre Wahl Priorität haben. Die Umfrage wurde im Rahmen des aktuell laufenden Forschungsprojektes ‚Moderne Bauleitung‘ durchgeführt. [13] Ziel der Umfrage ist es die Berufswünsche und Berufserfahrungen für den Bereich Bauleitung von den Studierenden zu erfahren. Daran anschließend erfolgt die Erarbeitung der Stufe 3. Hier werden die Erkenntnisse aus der Recherche über den Status Quo und die Erkenntnisse und Hypothesen aus der Studierendenumfrage in Verbindung gebracht und die Anforderungen an den Beruf ausgearbeitet. Die Anforderungen werden mit der Arbeitsmethode ‚New Work‘ [11] kombiniert und es werden Lösungsansätze erarbeitet [Abb. 2-1]. Die Lösungsansätze widerspiegeln die Anforderungen und Eindrücke nachfolgender Fachkräfte-Generationen für das Berufsfeld Bauleitung.

Die Erarbeitung der drei Stufen führt zu Lösungsansätzen für kleine und mittelständische Unternehmen zur Attraktivitätssteigerung des Berufsfeldes. Die Verbindung der Wünsche und Bedürfnisse aktueller Nachwuchskräfte mit Herausarbeitung der Möglichkeiten neuer Arbeitsmethoden kann zur Zukunftsfähigkeit von Unternehmen beitragen.

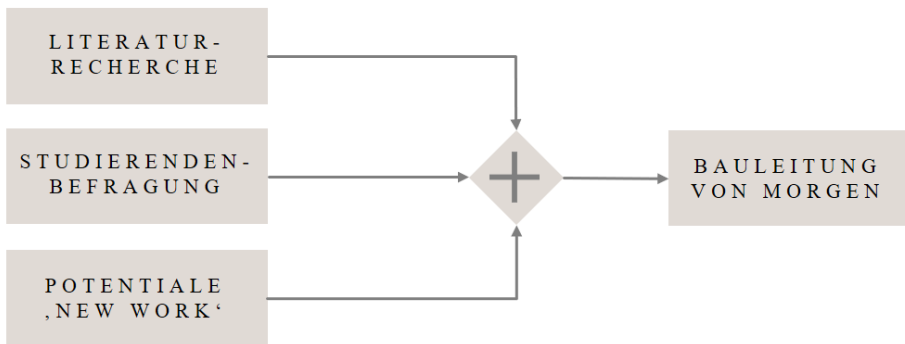


Abb. 2-1: Methodisches Vorgehen ‚Bauleitung von morgen‘

2.2 Grundlagen zur Integration von ‚New Work‘

New Work beschreibt eine Arbeitsmethode, dessen Kern sich in den 80er Jahren in den USA herausgebildet hat. Nach Bergmann, dem Begründer des Begriffs ist ‚New Work‘ „die Arbeit, die ein Mensch wirklich (wirklich) will“ [14, S. 15]. Sie basiert im Kern auf einem humanistischen Arbeitskonzept, welches Menschen ermöglichen soll, der Arbeit nachzugehen, die sie aus tiefster Überzeugung machen wollen. [11] Zudem sollte ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Beruf und Privatleben angestrebt werden. Dies lässt sich in Organisationen nicht immer optimal abbilden. Hier kann eine Anpassung des Arbeitsumfeldes durch den Ansatz von New Work angestrebt werden. Je nach Organisation und Unternehmenskultur sind unterschiedliche Merkmale zu berücksichtigen. In der Literatur existieren bereits erste „New-Work-Frameworks“, die den Versuch starten, New Work als Arbeitsinstrument darzustellen. [15] Die wichtigsten New-Work-Merkmale, basierend auf einer empirischen Studie, sind Sinnhaftigkeit, persönliche Weiterentwicklung, zeitliche Flexibilität, Vereinbarkeit, Digitalisierung, Team, Führungsverhalten, Diversity, Recruiting, Image, Unterstützung bei Lebensereignissen, Arbeitsweisen und Organisationsstrukturen, Kommunikation, Unternehmenskultur, Corporate Benefit, Gehalt und Raumkonzept. [11, S. 31]

Betrachtet man die traditionelle Bauleitung, können einige dieser Bereiche in der Praxis deutlich defizitärer ausgebildet sein. So lässt sich die Bauleitung auf einer Baustelle, unabhängig von Größe und Projektvolumen, nicht ohne weiteres zeitlich flexibel gestalten. In der Regel ist die Bauleitung mindestens vier Tage vor Ort, um ihren Aufgaben nachzugehen. Kommt zu der notwendigen Anwesenheit auch noch ein langer Anfahrtsweg zur Baustelle dazu, hat dies einen negativen Effekt auf die Vereinbarkeit von Familie und Beruf. Merkmale, die in anderen Branchen bereits eine hohe Visibilität haben und erste Effekte der Verbesserung sichtbar werden, werden in der Baubranche als Hebel zur Attraktivitätssteigerung teilweise noch unterschätzt. Der Effekt, den die Methode New Work auf das Berufsfeld der Bauleitung haben kann, erscheint groß in Anbetracht der Tatsache, dass in diesem Bereich bisher noch wenig bemerkenswerte Transforma-

tionsarbeit stattgefunden hat. Organisationen, die New Work als gangbaren Weg zur Steigerung der Arbeitgeberattraktivität in Erwägung ziehen, sollten sich bewusst sein, dass dies eine echte Transformation nach sich zieht, deren Investment aber zu einer langfristigen Verbesserung der Unternehmenskultur sowie der Anziehung und Bindung auf potentielle Mitarbeitende hat.

3 Status Quo: Bauleitung

Die Darstellung des aktuellen Images der Bauwirtschaft und des Berufs der Bauleitung zeigt in Verbindung mit der Darstellung der aktuellen Trends und Entwicklungen für den Fachbereich Bau Rückschlüsse zu Entwicklungspotentialen und Problemfelder auf.

3.1 Das Image der Bauwirtschaft und des Berufsfeldes Bauleitung

Laut dem Bundesministerium des Innern für Bau und Heimat hat *„Bauen in Deutschland Tradition und Zukunft. Die Bauwirtschaft ist eine der Schlüsselindustrien für die Binnenwirtschaft und zugleich einer der größten Wirtschaftszweige in Deutschland und Europa.“* [16, S. 1] Bereits innerhalb einer im Jahre 2007 durchgeführten Repräsentativbefragung der Bevölkerung zur Außendarstellung der Bauwirtschaft sprachen rund 70 Prozent der Befragten dieser eine große bzw. sehr große wirtschaftliche Bedeutung im Verhältnis zu anderen deutschen Wirtschaftszweigen zu. [17, S. 3] Die Bedeutsamkeit des Bauwesens steigt jährlich und die Bauleitung ist eine relevante Schnittstelle für die Abwicklung einer Baustelle. Aber wie im vorherigen Kapitel dargestellt, besteht ein Nachwuchskräftemangel für das Tätigkeitsfeld Bauleitung. [1, S. 6] [18] Ein Grund hierfür kann das Image der Bauwirtschaft und des Tätigkeitsfeldes der Bauleitung sein. Die Bauwirtschaft tritt medial oftmals negativ in Erscheinung über bspw. negative Berichterstattungen über deutsche Großbauvorhaben, [19, S. 75] politische Entscheidungen zum Nachteil für Steuerzahler („KfW Förderungstopp [20]) sowie mangelnder Wohnraum in den Großstädten [21, S. 1]. Die häufigsten Umgebungsbedingungen für Bauberufe und daher prägend für die Außendarstellung sind Arbeiten unter schlechten Rahmenbedingungen bspw. unter ungünstigem Klima, Lärm, Schutzkleidung, Dreck, Dämpfe, Schwingungen und Stößen sowie schlechter Beleuchtung. [22] Speziell mit dem Berufsbild der Bauleitung werden innerhalb der Gesellschaft vor allem, neben viel Stress und wenig Urlaub, unregelmäßige Arbeitszeiten und eine schlechte Vereinbarkeit von Privat- und Berufsleben verbunden. [17, S. 26-28] Nach Ergebnissen einer Studentenforschung an der Universität Siegen 2012 verbinden junge Absolventen die Bauleitung zudem noch mit überlangen Arbeitszeiten und einer hohen Reisebereitschaft mit ständiger Erreichbarkeit, was die Vereinbarkeit von Familie und Beruf zunehmend erschwert. [23, S. 19] Die Studie ergab zudem, dass das Tätigkeitsfeld der Bauleitung von den Befragten geschlechtsneutral gesehen wird. Die Bauleitung hat das Image mit Problemen konfrontiert zu werden und daher von den Student:innen oder Absolvent:innen für den Beruf die Fähigkeit von Durchsetzungsvermögen benötigt wird. Führungskompetenzen sind kein Bestandteil der Lehre und die Student:innen sagen aus, dass auch durch

Praktika diese Fähigkeiten nicht vermittelt werden. Die Befragten geben an, dass das Themenfeld Bauleitung durch die Lehre und Praktika mehr gefördert werden soll und Praktika ein gutes Bindeglied für die wissenschaftliche Ausbildung und Praxis sind. [23, S. 15] Die fehlende Vorbereitung auf das Berufsbild „Bauleiter:in“ in der Ausbildung von Architekten an Hochschulen, gepaart mit gesellschaftlichen Vorbildern, hat zu einer internen Ablehnung der Rolle im Baumanagement geführt. [23, S. 7]

Statistisch gesehen sind in der Bauleitung überwiegend männliche Personen mit einem Durchschnittsalter von 43,7 Jahren tätig. [24, S. 30] Um Nachwuchskräfte für die Bauleitung zu finden, sind durch die Unternehmen moderne Marketinginstrumente zu verwenden. [4, S. 30] Als positive Merkmale können die Vielseitigkeit der Tätigkeit im Berufsalltag, kunden- und teamorientiertes Arbeiten, eine große Eigenverantwortung und die stabilen Zukunftsaussichten herausgestellt werden. [25, S. 8] Für Unternehmen und Hochschulen stehen hier eine Vielzahl an Marketinginstrumenten für die Mitarbeiter- und Studierendengewinnung zur Verfügung. Marketing ist ein wesentlicher Bestandteil für ein gutes Image und zur Gewinnung von Nachwuchs. Die Branche ist darauf angewiesen, aktiver zu werden.

3.2 Aktuelle Trends und Entwicklungen

Laut Daten der größten jährlichen Haushaltsbefragung des Statistischen Bundesamtes, dem Mikrozensus aus dem Jahr 2020, arbeiten rund 2,15 Millionen Menschen in Deutschland im Berufsbereich Bau, Architektur, Vermessung und Gebäudetechnik. Bei weiterer Differenzierung mit Blickpunkt auf die Führungskräfte der Bauwirtschaft, ergibt sich ein Anteil von ca. 20 Prozent der Gesamterwerbstätigen in diesem Segment. [26, S. 53] Hinsichtlich der Altersstruktur bestätigen die Angaben des Mikrozensus den innerhalb der deutschen Gesellschaft ersichtlichen Trend zum demografischen Wandel. So waren 2020 ein Fünftel der Beschäftigten im Alter zwischen 35 und 45 Jahren im Feld Bauplanung und Architektur tätig, im Altersgefüge von Mitte 40 bis Mitte 60 sogar mehr als die Hälfte aller Personen. [26, S. 136] Somit zeigt sich ein fortlaufender Trend in der Alterszusammensetzung der Führungskräfte im Baugewerbe. Im Zusammenhang mit der Geschlechterverteilung ergibt sich ein Verhältnis von 1 : 4 zwischen weiblichen und männlichen Beschäftigten in Führungskreisen der Bauwirtschaft. [26, S. 126] Die Frauenquote verbucht hierbei im Berufsfeld Bauingenieurwesen innerhalb der vergangenen sieben Jahre einen Anstieg um 15 Prozent und ist somit deutlich nachgefragter als gewerbliche Bauberufe. Von großer Beliebtheit erweist sich die Sparte des Hochbaus, in welchem rund ein Drittel aller Bauingenieurinnen tätig sind. [27] Wirft man einen Blick auf den beruflichen Bildungsabschluss der Berufstätigen in der Kategorie Bauplanung und Architektur, fällt auf, dass Männer vorzugsweise auf Grundlage eines Meister- bzw. Technikerabschlusses oder einer abgeschlossenen Lehre ihr Tätigkeitsfeld ausüben, wohingegen Frauen vermehrt auf einen Studienabschluss in Form eines Bachelors oder Masters bauen. [26, S. 128]

Bezogen auf aktuelle Studierendenzahlen im Bereich Bauingenieurwesen an deutschen Hochschulen und Universitäten, waren im Wintersemester 2020/2021 rund 57.600 Studierende eingeschrieben. Diese Anzahl spiegelt den Trend der vergangenen drei Jahre

wider, in denen ähnliche viele angehende Bauingenieure einem Studium nachgingen. [28] Ebenfalls hat die Quote der Absolventen im selbigen Studiengang deutlich zugenommen. Lag die Zahl 2008 noch bei rund 5.000 Abschlüssen, hat sie 15 Jahre später einen merklichen Zuwachs auf rund 10.500 Absolventen erfahren. Zurückzuführen sei diese Entwicklung auf die verbesserten baukonjunkturellen Perspektiven in Folge der Bauwirtschaftskrise im Jahr 2007. [29] Analog konstant dazu verhalten sich die Studentenzahlen im Bereich Architektur. Die Daten der Bundesarchitektenkammer zeigen rund 38.300 Studierende im Wintersemester 2019/2020 auf, deren Quote sich aus den vergangenen drei Jahren anhaltend bestätigen lässt. [30] Auffallend ist in diesem Zusammenhang die ausgeglichene Geschlechterverteilung im Architekturstudium, zumal im Bereich des Bauingenieurwesens männliche Studierende deutlich überwiegen (m: 70 %, w: 30 %). [27] Trotz dieser Tendenzen können zwei von drei Betrieben ihre offenen Stellen nicht besetzen [Stand 2021]. Gerade der Mittelstand hat hier große Probleme. [31, S. 6]

3.3 Ergebnis der Studierendenumfrage

Das Ergebnis der deutschlandweiten Umfrage mit Studierenden im November 2021 durch das Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft der Bergischen Universität Wuppertal wird nachfolgend aufgezeigt. Die Online-Umfrage umfasst die Auswertung von 287 Fragebögen. Die Geschlechterverteilung der Teilnehmenden liegt bei 54 % männlichen Studierenden und 46 % weiblichen Studierenden. Der Altersdurchschnitt aller Probanden liegt zwischen 18 und 61 Jahren bei einem Mittelwert von 24 Jahren. Für die Beantwortung der Fragen wurden überwiegend graduelle Antwortskalen nach Likert verwendet [sehr hoch [eins] – sehr niedrig [fünf]]. Dadurch können die persönlichen Einstellungen zu den einzelnen Themengebieten gemessen werden [32, S. 601 f.]. Zusätzlich dazu wurden auch binäre Antwortmöglichkeiten verwendet in denen die Probanden einen Umstand bejahen oder verneinen konnten, sowie Antwortmöglichkeiten über optionale Freitexte zur Verfügung gestellt. Besonderes Augenmerk wurde bei der Auswertung der Umfrageergebnisse daraufgelegt, ob eine statistische Assoziation zwischen dem Geschlecht der Teilnehmenden und der Berufswahl das Tätigkeitsfeldes Bauleitung nachweisbar ist. Daneben wurden die Ergebnisse der Teilnehmenden, die eine hohe Affinität zur Bauleitung haben, ebenfalls unter den gleichen Gesichtspunkten untersucht und mit der antonymen Merkmalsgruppe verglichen.

Auf die Frage, ob sich die Studierenden später vorstellen können, im Tätigkeitsfeld der Bauleitung zu arbeiten, antworteten männliche Studierende zu 83 % mit ja und weibliche Studierende mit 71 %. Unterschieden nach Hochschularten fühlen sich gut ein Drittel der Studierenden an Universitäten und knapp die Hälfte der Studierenden an Fachhochschulen gut auf das Berufsfeld vorbereitet. Eine Korrelation zwischen steigendem Alter und erhöhter Bereitschaft in der Bauleitung zu arbeiten konnte in den Umfrageergebnissen nicht festgestellt werden. Dabei wirkt sich die Existenz von Vorbildern bei den männlichen Studierenden um 4 % und bei den weiblichen Studierenden um 2 % positiv auf die Bereitschaft im Tätigkeitsfeld Bauleitung zu arbeiten aus.

Um das Image der Bauwirtschaft aus Sicht der Studierenden zu eruieren, wurden diese nach Ihren Einschätzungen zu verschiedenen Themengebieten befragt. Dabei wurde auch wieder zwischen männlichen und weiblichen Studierenden und zwischen Studierenden mit dem Merkmal „will später in der Bauleitung arbeiten“ und „will nicht in der Bauleitung arbeiten“ unterschieden. Hieraus ergibt sich, dass Studierende, die in der Bauleitung arbeiten möchten, insgesamt ein besseres Bild von der Bauwirtschaft haben. Abgesehen von der Bedeutung für die deutsche Wirtschaft, die alle Merkmalsgruppen für wichtig erachten, gab es weitere Überschneidungen bei der Nachwuchsförderung und der Außendarstellung. Erstere wurde als neutral und zweitens insgesamt als leicht negativ bewertet. Bei den weiteren Merkmalen ergeben sich größere Divergenzen. Die Bewertung der Merkmalsgruppe, welche in der Bauleitung arbeiten möchte, ist in Ihrer Tendenz 5-10 % positiver ausgeprägt. Insgesamt werden Themen der Digitalisierung, der Gleichberechtigung, der existierenden Arbeitsbedingungen, der Nachhaltigkeit sowie möglichen Klimaauswirkungen als negativ oder sehr negativ bewertet; letztere werden in diesem Zusammenhang am deutlichsten negativ bewertet.

Im weiteren Verlauf wurden die Präferenzen der Studierenden bezüglich ihrer Rahmen- und Arbeitsbedingungen ermittelt (Abb. 3-1). Hier zeigen Studierende, die in der Bauleitung arbeiten möchten, höher ausgeprägte Ansprüche. Die Divergenz ist bei den Prioritäten der Aufstiegschancen, Diensthandy und -wagen, sowie Bezahlung am größten. Weiterbildungsmöglichkeiten, innovative Unternehmen sowie digitale Arbeitsmittel sind beiden Merkmalsgruppen wichtig. Ein ähnliches Ergebnis lässt sich auch bei den Arbeitsbedingungen erkennen. Studierende, die im Tätigkeitsfeld Bauleitung arbeiten möchten, haben abgesehen von den Punkten gleichberechtigtes Arbeiten und flexible Arbeitszeiten, höhere Ansprüche an die Arbeitsbedingungen.

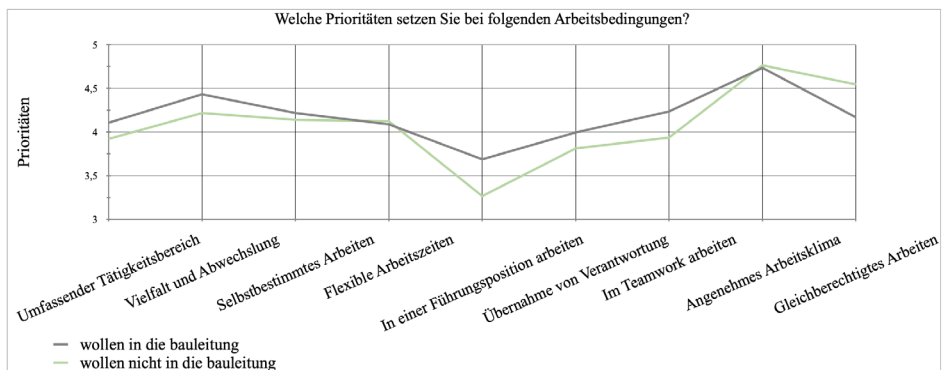


Abb. 3-1: Prioritäten bei den Arbeitsbedingungen

Eine Auswertung der bevorzugten Mittel zur Stellensuche hat ergeben, dass die Unterschiede zwischen den Geschlechtern vielfältig sind. Wie Abb. 3-2: Bevorzugte Wege der Stellensuche zeigt, gibt es kaum Überschneidungen zur geplanten Stellensuche. Während die meisten männlichen Studierenden dazu neigen spätere Arbeitsplätze über Kontakte, Online-Plattformen und eigene Recherche zu akquirieren, legen die weiblichen

Studierenden einen Fokus auf Social-Media-Kanäle, Messe-Besuche und Praktika, um Ihren späteren Arbeitgeber zu finden. Die Werkstudentenstelle ist bei beiden Gruppen ähnlich beliebt.

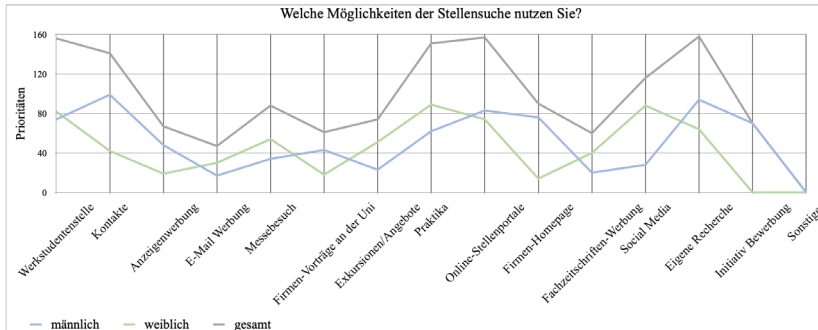


Abb. 3-2: Bevorzugte Wege der Stellensuche

Innerhalb der Umfrage konnten die Studierenden über Freitextfelder Ihre eigenen Einschätzungen und Lösungsansätze zur Attraktivitätssteigerung des Tätigkeitsfeldes Bauleitung abgeben. Zu den meist getroffenen Aussagen bezüglich der Probleme, die im Tätigkeitsfeld gesehen werden, gehören der hohe Druck, die zu langen Arbeitszeiten und die, gemessen an der übernommenen Verantwortung, vergleichsweise niedrige Bezahlung. Weitere negative Eindrücke der Studierenden waren die schlechte Vereinbarkeit von Familie und Beruf, insbesondere im Hinblick der Unterstützung von weiblichem Personal in der Position der Bauleitung. Viele Studierende führten auch an, sich nicht ausreichend auf eine Tätigkeit in der Bauleitung vorbereitet zu fühlen. Sie führten zudem an, dass die Einstiegshürden und das vorausgesetzte Wissen seitens der Unternehmen zu hoch sei und eine nicht ausreichende Einarbeitung durchgeführt würde. Um die Attraktivität der Bauleitung zu steigern, wurden eine deutliche Erhöhung der Bezahlung, geringere und geregelte Arbeitszeiten, eine Verschmälerung des Aufgabenbereichs und mehr Unterstützung in der Weiterbildung und dem Sammeln von Praxiserfahrung genannt.

Diskussion: Auf Grundlage der vorgestellten Ergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass männliche Studierende eine höhere Wahrscheinlichkeit aufweisen, nach dem Abschluss ihres Studiums in der Bauleitung zu arbeiten. Der Unterschied zu den weiblichen Studierenden ist jedoch bei weitem nicht so hoch wie auf Grundlage des derzeitigen Frauenanteils im Baugewerbe, wie eingangs dargelegt, vermuten lässt [27]. Das Interesse zwischen den Geschlechtergruppen unterscheidet sich bei der vorliegenden Umfrage hier um 12 %. Das Vorhandensein von Vorbildern aus der Baubranche hat sich für die Studierenden als unerheblich für die Berufswahl herausgestellt. Die Abwesenheit von Vorbildern für weibliche Studierende unterstreicht den weiterhin bestehenden Handlungsbedarf, das Tätigkeitsfeld für Frauen attraktiver zu machen. Dies wird auch durch den Fakt unterstrichen, dass sich männliche Studierende bei der Berufswahl sicherer fühlen und auch eine höhere Bereitschaft zeigen, im Tätigkeitsfeld Bauleitung zu arbeiten. Der Vergleich der Studierenden von Universitäten und Fachhochschulen hat

gezeigt, dass sich Absolvent:innen durch die Fachhochschulen besser auf den Beruf der Bauleitung vorbereitet fühlen, als Studierende, die an einer Universität eingeschrieben sind. Dies kann mit dem stärkeren Praxisbezug der Fachhochschulen und dem weniger wissenschaftlich-theoretisch geprägten Fächern begründet werden. Die Anwendung einer praxisorientierteren Ausbildung wurde seitens der Studierenden als geeignete Vorbereitung auf den Beruf der Bauleitung geäußert. Die Auswertung der Eindrücke der Studierenden zur Bauwirtschaft verdeutlicht weiterhin, dass, abgesehen von der wirtschaftlichen Relevanz, selbst bei Studierenden des Fachgebietes ein durchweg schlechtes Bild der Bauwirtschaft vorherrscht. Der Handlungsbedarf bei fast allen Bereichen in der Bauwirtschaft, vermehrt ein attraktives Image darzustellen, wird dadurch unterstrichen. Besonders im Hinblick auf die Nachhaltigkeit und die Auswirkungen auf den Klimaschutz, die bei der Umfrage deutlich als negativ eingestuft werden, gleichzeitig aber ein immer präsenteres Thema der Gesellschaft sind, verdeutlichen, dass die Bauwirtschaft wegen Ihres starken Einflusses auf den Klimaschutz nicht als Innovationsträger, sondern eher als Teil des Problems gesehen wird.

4 Dimensionen der Realisierungsmöglichkeiten

Die Wünsche und Bedürfnisse der Studierenden als potentielle Bauleiter:innen werden im Folgenden mit dem Beruf und den Ansätzen von New Work in Verbindung gebracht. Der anstehende Generationenwechsel birgt in Hinblick auf die Implementierung des Ansatzes auf das Tätigkeitsfeld positive Effekte für die Bauwirtschaft. Neben den Erkenntnissen aus den hier vorliegenden Forschungsdaten machen auch der gesellschaftliche Kontext, in dem die Themen demografischer Wandel und Generationen- bzw. Wertewandel impliziert sind, und das in Teilen negative Image der Baubranche deutlich, dass in der Baubranche eine Modernisierung notwendig ist.

Die Herausforderung dabei New Work mit dem Beruf der Bauleitung zu verbinden ist, dass der Begriff an sich für viele Unternehmen nur schwer greifbar und ambivalent ist. [33, S. 14] So wie New Work die Einführung einer Obst-Flatrate oder die Anschaffung eines Kickertisches im Büro sein kann, gibt sie auch weitreichende und umfanglichere Konzepte her, um eine Unternehmenskultur, basierend auf Vertrauen, guter Kommunikation und Unterstützung, zu begünstigen. Eine besondere Herausforderung ist die Umsetzung von New Work, wenn strategische und operative Arbeit aufeinandertreffen. Hier stellt sich die Frage, inwieweit sich New Work und moderne Elemente im Tätigkeitsbereich der Bauleitung zusammenfügen lassen und wie dieses Konstrukt in baunahen Organisationen umgesetzt werden kann. Dabei können die genannten Merkmale aus Abschnitt 2.2 als Rahmen herangezogen und im unternehmerischen Kontext bearbeitet werden. In der folgenden Abbildung werden die Merkmale hervorgehoben, die mit dem Ergebnis aus der Studierendenumfrage deutlich übereinstimmen.

Diese Merkmale sowie die darüber hinaus dargestellten Merkmale haben einen nachweislichen Einfluss auf die Unternehmenskultur von Organisationen [11, S. 142] und damit großen Einfluss auf potentielle Nachwuchskräfte und die Zukunftssicherung des Unternehmens. Jede Verbesserung eines einzelnen dieser Merkmale im Unternehmen

kann zur Wahrnehmung der Studierenden über die Tätigkeiten in einem Bauunternehmen, vor allem die eines Bauleiters oder einer Bauleiterin positiv beitragen. In der Umfrage nannten die Studierenden ihre größten Probleme in dem Beruf Bauleitung der hohe Druck, die langen Arbeitszeiten und die schlechte Vereinbarkeit von Familie und Beruf. Sie wünschen sich für den Beruf mehr Gehalt, weniger Druck und flexiblere Arbeitszeiten. Wichtig sind den Studierenden bei Ihrem zukünftigen Arbeitgeber die Weiterbildungsmöglichkeiten und Aufstiegschancen sowie digitale Arbeitsmittel, ein innovatives Unternehmen, die Mitarbeiterausstattung und die Bezahlung. Insgesamt können drei Kernbereiche für positive Effekte bei der Mitarbeiterfindung von Unternehmen herausgearbeitet werden: Vereinbarkeit von Familie und Beruf, die persönliche Weiterentwicklung und die Digitalisierung.



Abb. 4-1: 'New Work' in der Bauleitung [11]

Vereinbarkeit von Familie und Beruf: Um eine höhere Vereinbarkeit, und somit eine höhere Zufriedenheit durch die individuell befriedigendere Aufteilung zwischen Berufs- und Privatleben in der Bauleitung zu erreichen, können neue Arbeitszeitmodelle eingesetzt werden. Unter diese New-Work-Instrumente lassen sich zum Beispiel „Job-Sharing“, also die Aufteilung einer 100 %-Stelle zwischen zwei Bauleiter:innen, verorten. Dadurch ergibt sich für beide Bauleiter:innen eine höhere Flexibilität. Weitere Vorteile sind, dass Urlaubs- und Krankentage weitestgehend durch eine natürliche Vertretungsregelung aufgefangen werden und weniger herausfordernde Bauphasen zur Vorbereitung neuer Bauvorhaben oder Abarbeitung auslaufender Projekte genutzt werden können. Zu einer besseren Vereinbarkeit trägt auch die verbindliche Zusage von maximalen Baustellenentfernungen bei. Viele Bauleiter:innen starten ihren ersten Job nach dem Studium, in der „Rush Hour des Lebens“. In dieser Lebensphase gestalten sie ihre Karrieren aber auch soziale Beziehungen und Zugehörigkeiten. Auch die Familienpla-

nung, zumindest die Auseinandersetzung damit, wird hier angestoßen. Der Wertewandel durch die jungen Generationen bringt auch einen Wandel der Sicht auf das Thema „familiäre Gleichberechtigung“ mit sich. Viele Eltern wünschen sich eine gleichberechtigte Elternschaft, in der beide Elternteile einen ähnlich hohen Beitrag leisten. Dies ist nur möglich, wenn beide Elternteile eine gewisse Wochenzeit am Wohnort arbeiten. In vielen Bauunternehmen werden Bau- und Projektleiter:innen für weit entfernte Baustellen eingesetzt, die eine Heimfahrt nach getaner Arbeit nicht ressourcenorientiert umsetzen lassen. Eine Übereinkunft seitens des Arbeitgebers auf eine maximale Baustellenentfernung von z. B. 150 Kilometer vom Heimatort bedeutet eine enorme Qualitätssteigerung des Arbeitsumfeldes.

Persönliche Weiterentwicklung: Die vorliegenden Ergebnisse der Studierendenbefragung zeigen, dass dem Aspekt „Weiterbildungsmöglichkeiten“ in beiden Merkmalskategorien (Wunsch nach einem Beruf als Bauleiter:in und außerhalb der Bauleitung) eine hohe Wichtigkeit zugeschrieben wird (Abschnitt 3.3). Sowohl die Kostenübernahme als auch die Qualität der Weiterbildungen stellen wichtige Punkte dar. Hier sollte ein qualitativ hochwertiges Portfolio aus fachlichen Fortbildungen aber auch Soft-Skill-Schulungen (z.B. Selbstorganisation, Kommunikation, Rhetorik, Konfliktmanagement, New Leadership) angeboten werden.

Digitalisierung: Die Bereitstellung von digitalen Arbeitsmitteln (Hard- und Software) erleichtert die Arbeit für die Bauleitung in vielerlei Hinsicht. Pläne, Mängelaufnahmen, Meetings etc. sind nur einige Elemente, die sich durch die Nutzung von zum Teil bauspezifischer Software so gestalten lassen, dass eine kollaborative Zusammenarbeit im Baustellenteam, aber auch mit Auftraggeber:innen und Nachunternehmer:innen, leicht umzusetzen ist. Der Einsatz von mobilen Endgeräten, wie z.B. portable Tablets sowie Remote-Unterstützung oder auch Laptops erhöhen den Digitalisierungsgrad eines Bauunternehmens und steigern die Arbeitgeberattraktivität. Die jüngeren Generationen, die direkt nach dem Studienabschluss in die Bauleitung einsteigen, haben einen Vorteil, der sich durch die ‚digitale Nativeness‘ beschreiben lässt. In der Regel haben junge Menschen einen natürlichen Umgang mit digitalen Medien und mobilen Endgeräten. Ihr Wissen ist wertvoll für die gesamte Unternehmung, da dieses gleichzeitig als Ressource für die digitale Kompetenz weniger affiner Mitarbeitenden genutzt werden kann. Umgekehrt profitieren die jüngeren Bauleiter:innen vom Erfahrungsschatz der erfahrenen Mitarbeiter:innen.

Insgesamt zeigt sich ein großes Potenzial an jungen Nachwuchskräften im Bereich der Architektur und des Bauingenieurwesens, die es gilt, mit attraktiven Arbeitsbedingungen in dem Berufsfeld der Bauleitung zu binden. Durch die Analyse der Arbeitsmethode werden die neuen Anforderungen und Bedingungen für das Berufsfeld deutlich, um für Nachwuchskräfte und Fachkräfte aus der Bauwirtschaft ein spannendes und attraktives Berufsfeld zu bieten. Ziel sollte es sein, als zukünftiger Arbeitgeber, sich auf den Wertewandel und die aktuellen Rahmenbedingungen einzustellen und den Nachwuchskräften neue Arbeitsmodelle anzubieten. Durch die Anreicherung neuer Möglichkeiten kann die Attraktivität der Berufs Bauleitung signifikant gesteigert werden.

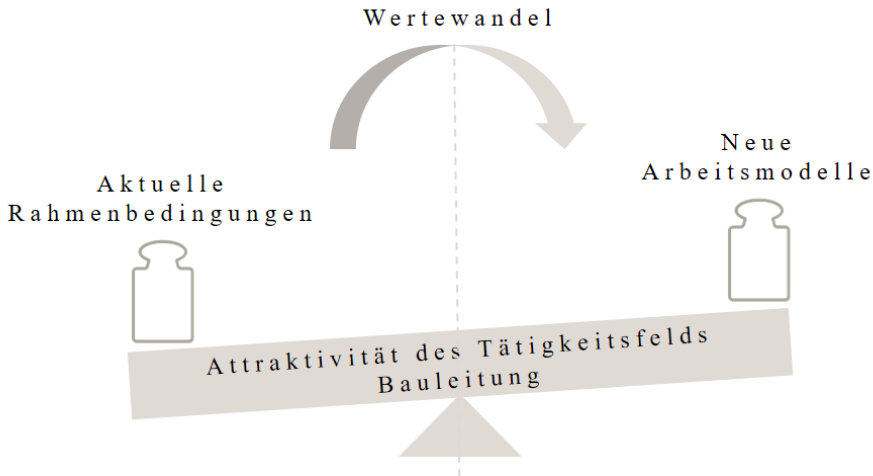


Abb. 4-5: Attraktivität des Tätigkeitsfeldes Bauleitung

5 Fazit und Ausblick

Der vorliegende Artikel zeigt auf, dass das Berufsfeld Bauleitung attraktiver für Absolventen und Fachkräfte gestaltet werden kann. Aus der Darstellung des Images von der Bauwirtschaft und der Bauleitung lässt sich schließen, dass sowohl ein Beruf in der Bauleitung als auch ein Studium im Bauingenieurwesen oder der Architektur für junge Akademiker nicht die erste Wahl ist. Dies wird auch durch die zu geringen Studierendenzahlen in dem Fachbereich bestätigt. Hier gilt es durch positive Beispiele, Vorbilder und bei der öffentlichen Kommunikation junge Menschen von der Branche zu überzeugen. Durch die Umfrage bei den Studierenden wurde zudem das negative Image bestätigt. Studierende, die sich einen Berufseinstieg in die Bauleitung vorstellen können, haben zumeist schon positive Erfahrungen durch Praktika und Werkstudentenstellen gemacht und haben sich selbst ein positives Bild des Berufs geschaffen. Die Studierendenumfrage bestätigt viele geschlechterstereotypische Annahmen, wenn auch teilweise nicht in gänzlichem Umfang. Ziel muss die gezielte Förderung von Frauen im Berufsfeld der Bauleitung sein, um dem Nachwuchskräftemangel durch zusätzliches weibliches Personal entgegenzuwirken. Gleichzeitig muss ebenso die Attraktivität des Berufsfeldes im Allgemeinen weiter gesteigert werden, um eine signifikante Veränderung in der Bereitschaft der Absolvent:innen zu schaffen in der Bauleitung zu arbeiten. Neben den äußeren Merkmalen der Bauwirtschaft und dem Vorantreiben der Digitalisierung bei den Arbeitsprozessen und der Modernisierung des Images, können als kurzfristig wirksame Hebel die Einführung einer Zeiterfassung und eine höhere Bezahlung, herausgestellt werden. Die Generation Y und die Ergebnisse der Studierendenumfrage zeigen, dass

sich diese Fachkräftegeneration mehr Flexibilität am Arbeitsplatz, Weiterentwicklungsmöglichkeiten und einen höheren Fokus auf ihr Privatleben wünschen. Diese Wünsche sind oftmals nicht mit den Arbeitsbedingungen auf der Baustelle vereinbar. Die Arbeitsmethode New Work unterstützt die Wünsche der Studierenden für ihr zukünftiges Arbeitsleben und gibt darüber hinaus weitere Merkmale für eine höhere Zufriedenheit des Arbeitnehmers an.

Auch für den Arbeitgeber kann die Implementierung von ‚New Work‘ Erfolg herbeiführen. Studien zeigen, dass Mitarbeiter die sich in ihrer Persönlichkeitsentfaltung besser ausleben können, die mehr Freizeit, Zeit mit Familie haben, eine erhöhte Resilienz aufweisen, effektiver arbeiten und damit auch wertvoller für das Unternehmen sind. Auf der anderen Seite sorgen Divergenzen und Unzufriedenheit der Mitarbeiter für geringere Leistungen. [34]

Ob durch die Implementierung von New Work in der Bauleitung wirklich Synergien entstehen, oder ob die Einführung überhaupt in diesem komplexen Tätigkeitsfeld möglich ist, ist weiter zu untersuchen. Die Ergebnisse aus der Studierendenumfrage sind mit bspw. Experteninterviews aus der Baubranche zu validieren. Durch die Verknüpfung der Berufswünsche und -bedürfnisse der Studierenden mit den aktuellen Erfahrungen von Bauleiter:innen und den Handlungsmöglichkeiten von Geschäftsführern von Bauunternehmen können Potentiale zur Realisierung herausgearbeitet werden. Interessant ist hier auch die Erhebung der politischen Rahmenbedingungen und die Verbindung mit der Umsetzung der Öffentlichkeitsarbeit von Kammern und Verbänden.

6 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-malin-der-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]M. Schneller, *Modell zur Verbesserung der Lebensarbeitsgestaltung von Baustellen-Führungskräften: Dissertation*. S. 30, 2015.
- [5]F. Würfele, B. Bielefeld und Gralla Mike, *Bauobjektüberwachung: Kosten — Qualitäten — Termine-Organisation — Leistungsinhalt — Rechtsgrundlagen — Haftung — Vergütung*, 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg, 2007.
- [6]T. Kölzer, „Einflüsse der Digitalisierung auf Baustellenarbeitsprozesse“, TUHH Universitätsbibliothek, 2021.
- [7]IZ, „Der überlastete Bauleiter“, *IZ Jobs*, 13. März 2014, 2014. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iz-jobs.de/karriere/themen/der-ueberlastete-bauleiter,125545>. Zugriff am: 22. Februar 2022.

- [8]Chambers et al., „The War for Talent“, *The McKinsey Quarterly*, Nr. 3, S. 44-57, 1998.
- [9]M. Schröder, „Der Generationenmythos“, *Köln Z Soziol*, Jg. 70, Nr. 3, S. 469–494, 2018, doi: 10.1007/s11577-018-0570-6.
- [10]Hackl et al., *Ich war noch niemals in New Work: Studie zur Zukunft der Arbeitswelt*. [Online]. Verfügbar unter: http://www.detecon.com/de/Hot_Topics/future-work (Zugriff am: 8. März 2022).
- [11]V. Jobst-Jürgens, *New Work*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020.
- [12]H. O. Mayer, *Interview und schriftliche Befragung: Grundlagen und Methoden empirischer Sozialforschung*. Walter de Gruyter, 2012.
- [13]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.
- [14]F. Bergmann, *Neue Arbeit, neue Kultur*. Freiburg: Arbor, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1850100>
- [15]Humanfy, *New Work Charta*. [Online]. Verfügbar unter: <https://humanfy.de/new-work-charta/> (Zugriff am: 28. März 2022).
- [16]Bundesministerium des Innern für Heimat, *Bedeutung des Bauwesens*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmi.bund.de/DE/bauen-wohnen/bauen/bauwesen/bedeutung/bedeutung-bauwesen-node.html> (Zugriff am: 8. Februar 2022).
- [17]I. f. D. Allensbach, *Das Image der deutschen Bauwirtschaft*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ifd-allensbach.de/fileadmin/studien/7250_Bauwirtschaft.pdf.
- [18]Statista, *Bau sucht Ingenieur*. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/infografik/13321/zahlder-offene-ingenieurstellen-in-deutschland-nach-berufsfeldern/> (Zugriff am: 8. Februar 2022).
- [19]H.-E. Haverkamp, „Großbauvorhaben als öffentliches Ärgernis?“, *ZSE*, Jg. 13, Nr. 1, S. 75–86, 2015, doi: 10.5771/1610-7780-2015-1-75.
- [20]meistertipp, „Zugeständnis bei BEG-Förderung - doch Fördermittel für Januar“, *Wirtschaftsverlag Roland Riethmüller*, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.meistertipp.de/aktuelles/news/zugestaendnis-bei-beg-foerderung-doch-foerdermittel-fuer-januar>
- [21]Kohl, S., Sagner, P., & Voigtländer, M., *Mangelware Wohnraum: Ökonomische Folgen des Mietpreissbooms in deutschen Großstädten*. Düsseldorf: FGW - Forschungsinstitut für gesellschaftliche Weiterentwicklung, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://pure.mpg.de/pubman/faces/viewitemoverviewpage.jsp?itemid=item_3155715
- [22]BIBB/BAuA-2012, *Arbeitsbedingungen am Bau–Immer noch schwere körperliche Arbeit trotz technischen Fortschritts: Factsheet 11*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund, 2014. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fakten/BIBB-BAuA-11.html>
- [23]Universität Siegen, Lehrgebiet: Bauökonomie und Baumanagement, Prof. Dr.-Ing. Bert Bielefeld, „Maßnahmen in der Hochschullehre zur Steigerung des Architektinnenanteils in der Bauleitung: Arbeits-Projekt titel: Frau am Bau – Architektinnen in der Bauleitung“, Universität Siegen, Lehrgebiet: Bauökonomie und Baumanagement, Siegen AZ 234, 22. Mai 2012. [Online]. Verfügbar unter: https://www.architektur.uni-siegen.de/baumanagement/forschung/copy_of_promotionen/?lang=de.

- [24]M. Hartmann, *Rekrutierung in einer zukunftsorientierten Arbeitswelt*. S. 30. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [25]SOKA-Bau, *Studie zur Attraktivität der Baubranche*. S. 9. [Online]. Verfügbar unter: https://www.soka-bau.de/fileadmin/user_upload/Bilder/Soka-Bau/Publikationen/studie_personalwerk_2014.pdf (Zugriff am: 8. Februar 2022).
- [26]Statistisches Bundesamt, *Bevölkerung und Erwerbstätigkeit: Erwerbsbeteiligung der Bevölkerung Ergebnisse des Mikrozensus zum Arbeitsmarkt 2019*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Erwerbsstaetigkeit/Publikationen/Downloads-Erwerbsstaetigkeit/erwerbsbeteiligung-bevoelkung-2010410197004> (Zugriff am: 16. Februar 2022).
- [27]Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., *Mehr Bauingenieurinnen am Bau*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/auf-den-punkt-gebracht/mehr-bauingenieurinnen-am-bau> (Zugriff am: 16. Februar 2022).
- [28]Statista, *Studierendenanzahl im Bauingenieurwesen in Deutschland bis 2021 | Statista*. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252269/umfrage/studierendenanzahl-im-bauingenieurwesen-in-deutschland/> (Zugriff am: 16. Februar 2022).
- [29]Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., *Studenten im Bauingenieurwesen: Zahlen & Fakten*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/studenten-im-bauingenieurwesen> (Zugriff am: 16. Februar 2022).
- [30]Bundesarchitektenkammer e.V., *Studierende Daten – Bundesarchitektenkammer e.V.* [Online]. Verfügbar unter: <https://bak.de/politik-und-praxis/wirtschaft-und-mittelstand/ausbildung-aktuelle-zahlen-studierende/studierende-daten/> (Zugriff am: 22. Februar 2022).
- [31]Deutscher Industrie- und Handelskammertag, „DIHK-Report Fachkräfte 2021: Fachkräfteengpässe schon über Vorkrisenniveau“, Berlin Brüssel, Nov. 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dihk.de/resource/blob/61638/9bde58258a88d4fce8cda7e2ef300b9c/dihk-report-fachkraeftesicherung-2021-data.pdf>.
- [32]N. Baur und J. Blasius, *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [33]C. C. Schermuly, *New Work - Gute Arbeit gestalten: Psychologisches Empowerment von Mitarbeitern*, 3. Aufl. Freiburg, München, Stuttgart: Haufe Lexware, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.haufe.de/>
- [34]Guðmundur D. Haraldsson, Jack Kellam, „Going Public: Iceland's Journey to a shorter working week“, Alda, Association for Democracy and Sustainability, Juni 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://autonomy.work/wp-content/uploads/2021/06/ICELAND_4DW.pdf. Zugriff am: 14. März 2022.

Tunnelpixel als Konzept für eine modellbasierte geotechnische Planung von Untertagebauten

Hans Exenberger¹

¹ Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau (iBT), Universität Innsbruck, hans.exenberger@uibk.ac.at

Kurzfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist ein Konzept zu entwickeln, wie eine zukünftige, vollumfängliche Implementierung eines digitalen Baugrundmodells in sämtliche Projektphasen des Tunnelbaus aussehen kann. Das entwickelte Tunnelpixelkonzept ist ein theoretischer Ansatz für die modellbasierte Implementierung von geologischen und geotechnischen Parametern in der Planung von Untertagebauwerken gemäß ÖGG-Richtlinien. Mit dem entwickelten flexiblen und erweiterbaren Ansatz ist eine Grundlage für die erfolgreiche Anwendung von BIM im Tunnelbau geschaffen. Am Ende werden noch weitere Anwendungsmöglichkeiten für das Konzept erörtert, sowie erste Lösungsansätze für die identifizierten Schwachstellen geliefert.

Schlagwörter: Tunnel Information Modeling, TIM, BIM, Digitalisierung, Tunnelpixel, Baugrundmodell, Tunnelbau

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	112
2	Motivation	112
3	Ergebnisse	113
4	Diskussion.....	116
5	Literatur	117

1 Einleitung

Mit der forschschreitenden Implementierung von Building Information Modelling (BIM) im Tunnelbau – dem Tunnel Information Modeling (TIM) – ergibt sich eine Vielzahl von neuen Möglichkeiten in der Bearbeitung von Tunnelbauprojekten. Parallel dazu ergeben sich auch jede Menge neuer Problemstellungen, welche es zu lösen gilt. TIM umfasst und behandelt drei interagierende Schwerpunkte – das Bauwerk, die Baustelle und den Baugrund. Letzterer ist für den Tunnelbau von besonderer Bedeutung, bringt aber bei der Implementierung der Methode BIM eine Vielzahl von Herausforderungen mit sich. Ein Baugrundmodell muss die Bedürfnisse verschiedenster Stakeholder, wie beispielsweise Geologen, Geotechnikern oder ausführenden Firmen, bedienen. Für Geologen etwa sind Schichtkörper-Modellansätze bereits seit längerem erprobt und bilden eine gute Grundlage für die fortschreitende Implementierung von BIM.

Das Fachgebiet der Geotechnik arbeitet mit den weit verbreiteten Methoden aus den Richtlinien für die geotechnische Planung von Untertagebauten der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG). Diese Methoden haben nicht nur in der Planung große Relevanz, sondern spielen auch in der Ausführungsphase eine wesentliche Rolle. Um diese Methoden fit für TIM zu machen, sind grundlegende Überlegungen bezüglich Modellstruktur und Parameterimplementierung nötig. Mit den Tunnelpixeln ist ein Konzept entwickelt worden, wie die Geotechnik in Planung und Ausführung im Tunnelbau unter Berücksichtigung der ÖGG Richtlinien modellbasiert abgewickelt werden kann.

2 Motivation

Die ÖGG-Richtlinien beschreiben für die Planungsphase schematisch einen Ablauf für die geotechnische Planung von Untertagebauten. Abb. 2-1: Schematischer Ablauf der geotechnischen Planung in der Planungsphase [1] zeigt die ersten Schritte dieses Ablaufs, beginnend mit den projektspezifischen Randbedingungen und Anforderungen bis hin zur Zuordnung der Gebirgsverhaltenstypen (GVT). Die geotechnisch relevanten Parameter werden in einem gesamthaften lithologisch, strukturgeologischen Baugrundschichtenmodell integriert. Die Gebirgsarten lassen sich ebenfalls in diesem Modell abbilden. Die weiteren Parameter, welche zur Bestimmung des Gebirgsverhaltens benötigt werden, sowie die zugeordneten GVTs sind von der Lage und Orientierung des Bauwerks abhängig und beschreiben wie das Gebirge auf den hergestellten Hohlraum reagiert. Sie können damit nicht direkt in das Baugrundschichtenmodell integriert werden [1]

Diese direkte Abhängigkeit von der Lage des Hohlraumbauwerks erfordert die Möglichkeit zur Hinterlegung von geologischen und geotechnischen Parametern im Bereich des zukünftigen Tunnels. Im Baugrundmodell entspricht dies, wie in der realen Welt, den Bereichen, welche herausgekappt bzw. ausgebrochen werden. Das derzeitige Baugrundmodell, mit einem lithologischen Aufbau, bietet in dieser Ausgestaltung keine einfache Möglichkeit um diese Parameter im Modell abzubilden. Geeigneter wäre dazu das Bau-

werksmodell, da dieses aus geometrischer Sicht die besseren Voraussetzungen bietet. Thematisch ist es dort jedoch falsch angesiedelt. Somit Bedarf es der Erarbeitung einer Lösung für dieses Problem. Die zu konzipierende Lösung soll dabei ein flexibles System darstellen, welches für den gesamten Lebenszyklus eines Tunnelprojektes angewendet werden kann. Weiters soll die bestmögliche Grundlage für eine (teil-)automatisierte Arbeitsweise geschaffen werden um sämtliche alphanumerischen Daten im Sinne einer Single-Source-Of-Truth (SSOT) in das Modell zu integrieren.

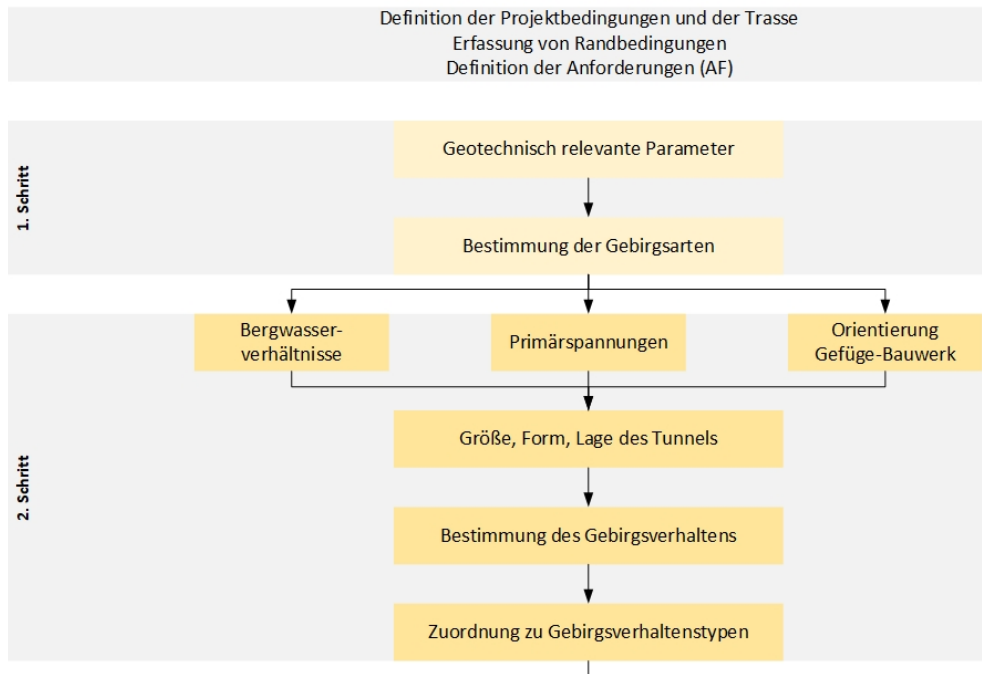


Abb. 2-1: Schematischer Ablauf der geotechnischen Planung in der Planungsphase [1]

3 Ergebnisse

Um baugrundbezogene Informationen im Hohlraumbereich abzulegen, braucht es demnach Modellelemente mit der Geometrie des Tunnelausbruchs, welche thematisch jedoch dem Baugrund zugeordnet sind. In einem ersten Schritt ergibt sich daraus ein Schlauchmodell, welches als äußere Abgrenzung die theoretische Ausbruchslinie (Grenzfläche A) verwendet. Um eine abschnittsweise Zuordnung von Eigenschaften zu ermöglichen, wie es beispielsweise die Zuordnung der Gebirgsbereiche erfordert, bedarf es zusätzlich einer Unterteilung in einzelne Abschnitte entlang des Schlauchmodells. An diese Abschnitte ergeben sich zwei wesentliche Anforderungen. Erstens soll die Modellierungsarbeit auf ein Minimum reduziert werden und während der Planung idealer-

weise auf eine einmalige Modellierung nach der Trassenfixierung minimiert werden. Die zweite Anforderung betrifft die möglichst flexible Zuordnung der Eigenschaften nach erfolgter Modellierung im Rahmen der Detailplanung und Ausführung. Das Resultat daraus ist eine Rasterung des Schlauchmodells in einem Intervall, welches klein genug ist um die abschnittsweise Zuordnung von Eigenschaften unter Berücksichtigung der erforderlichen Genauigkeit zu ermöglichen. Diese gerasterten Schlauchmodellabschnitte wurden sinngemäß Tunnelpixel genannt.

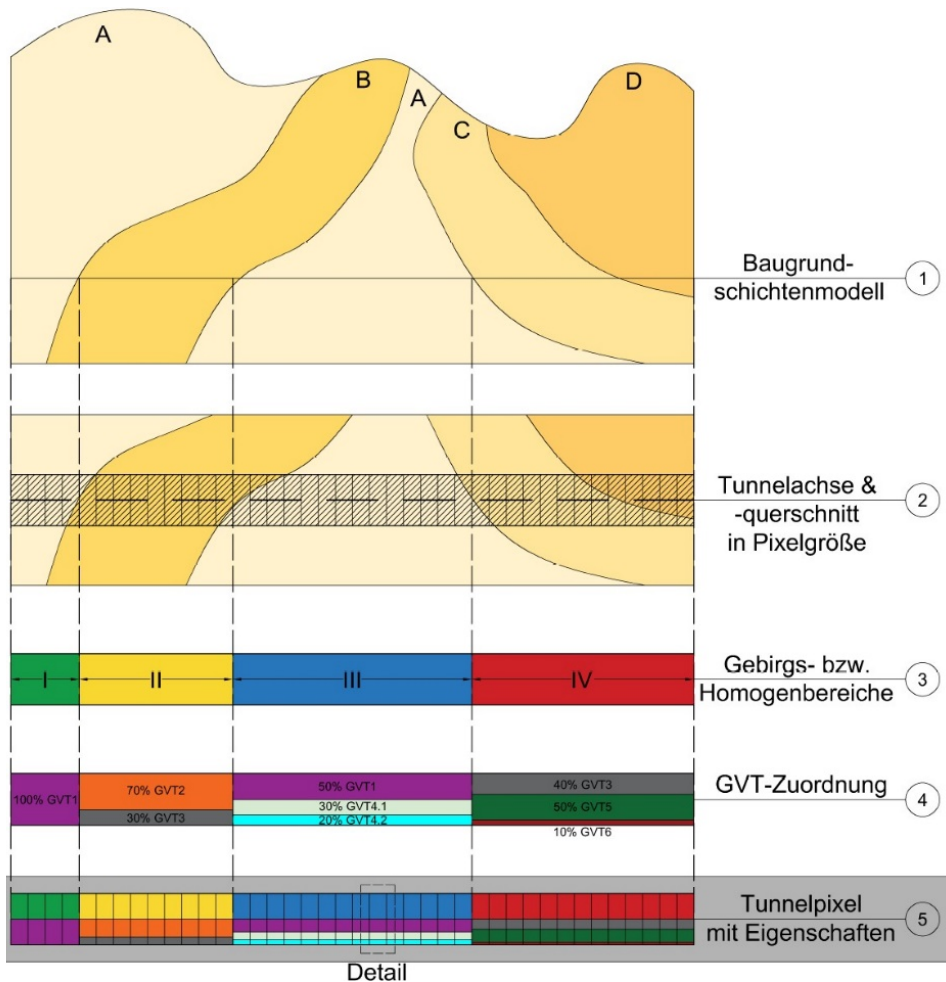


Abb. 3-1 Konzept zur Umsetzung der Tunnelpixel [2]

Mit diesem Konzept ist ein flexibles System geschaffen, welches eine Vielzahl an möglichen Mehrwerten für BIM im Tunnelbau bietet. Abb. 3-1 Konzept zur Umsetzung der Tunnelpixel [2] zeigt die Möglichkeit zur Implementierung der geotechnischen Parameter in ein Modell für die Planung von Tunneln. Durch eine sinnvolle Gruppie-

rung der einzelnen Tunnelpixel wird eine abschnittsweise Zuordnung von Eigenschaften ermöglicht. Dabei spielt es beispielsweise keine Rolle ob die Wechsel zwischen den Gebirgsarten (A-D) mit den definierten Gebirgsbereichen (I-IV) und der daraus resultierenden GVT-Zuordnung korrelieren oder nicht, da die Tunnelpixel für die einzelnen Eigenschaften jeweils wieder neu gruppiert werden können. Mit der Detailabbildung Abb. 3-2: Detaildarstellung eines Tunnelpixel [2]3-2) wird auch verdeutlicht, dass auf einem Tunnelpixel unterschiedlichste Eigenschaften hinterlegt werden können.

Weitergedacht, kann dieses Konzept ebenfalls auf die Anforderungen der beiden Vortriebsmethoden – maschinell und konventionell – angepasst werden. Mit einer Rasterung oder einer Gruppierung der Tunnelpixel in Abschlags- oder Blocklänge kann den Anforderungen des konventionellen Vortriebs genüge getan werden. Auf der einen Seite kann ein Intervall in Tübbinglänge bestmöglich die Bedürfnisse des maschinellen Tunnelbaus bedienen. Beide Varianten ermöglichen somit eine georeferenzierte Implementierung von sämtlichen Vortriebsdaten und den dabei erstellten Dokumenten bis hin zu abrechnungsrelevanten Informationen.

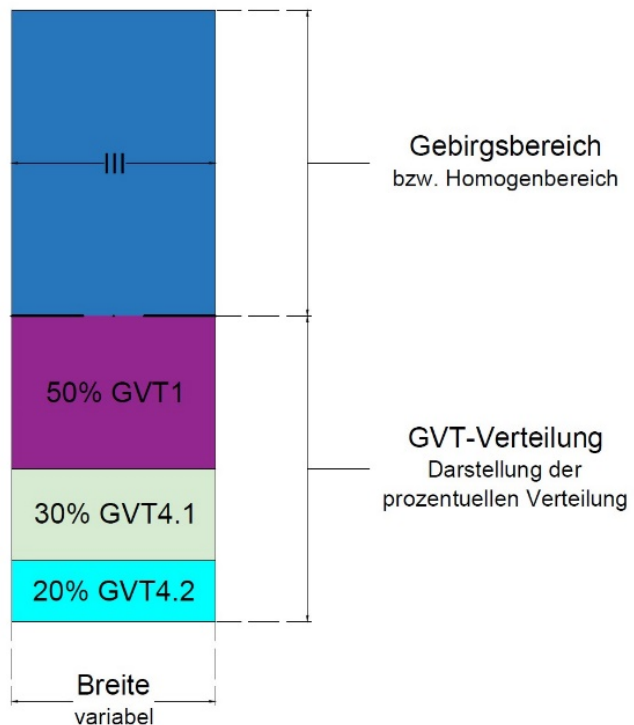


Abb. 3-2: Detaildarstellung eines Tunnelpixel [2]

4 Diskussion

Das beschriebene Tunnelpixel-Konzept ist ein erster Lösungsentwurf bzw. -ansatz für die Integration von geotechnischen Parametern in einem Baugrundmodell. Bei dessen Entwicklung hat sich jedoch herausgestellt, dass es noch viele weitere Anwendungsmöglichkeiten, wie die Implementierung von Vortriebsdaten, gibt. Im Sinne eines holistischen Modellansatzes, stellen die Tunnelpixel daher für den gesamten Lebenszyklus eines Projektes einen Mehrwert dar. Es wurden jedoch genauso bereits Schwachstellen identifiziert.

Mit der automatisierten Implementierung von maschinellen Vortriebsdaten wurde bereits ein weiterer möglicher Mehrwert angesprochen. Die Tunnelpixel erlauben eine georeferenzierte Ablage sämtlicher von der Tunnelvortriebsmaschine generierter Daten und damit eine zielgerichtete Auswertung und damit auch eine Nutzung dieser Daten. Diese Anwendung und die Weiterentwicklung des Tunnelpixelkonzepts für die Prozessoptimierung wird im Beitrag *Optimisation of Predictions in TIM Using Sensordata - OpTIMus Stand der Forschung* von Schneiderbauer et al. in diesem Konferenzband beschrieben.

Eine der Schwachstellen, welche noch genauer ausgearbeitet werden muss, ist die Frage der Verantwortung für die am Tunnelpixel hinterlegten Daten. Je nach Zuständigkeit für die Informationslieferung muss es eine klare Zuordnung der Schreibrechte für die einzelnen Parameter des Tunnelpixels geben. Als konkretes Beispiel soll beispielsweise verhindert werden, dass abrechnungsrelevante Informationen einseitig von der örtlichen Bauaufsicht oder dem Auftragnehmer geändert werden, respektive die Parameter nach der Abrechnung noch geändert werden können.

Mit steigenden Rechnerkapazitäten ist eine infinitesimale Rasterung der Tunnelpixel vorstellbar, um eine punktegenaue Hinterlegung der Informationen zu ermöglichen. Demgegenüber steht die fortschreitende Entwicklung von (teil-)automatisierten Skriptbasierten Lösungen. Damit wird eine Neugenerierung des Modells auf Grundlage von neuen Randbedingungen und ohne Verlust der bereits hinterlegten Informationen ermöglicht. Ein solcher Ansatz wird ebenfalls bereits in dem *OpTIMus* Beitrag verfolgt. Eine zukünftig Forschungsfrage wird sein, in wie weit die Interaktion mit dem Bauwerksmodell eine Anpassung der Tunnelpixelgeometrie bei Bauwerksänderungen nötig macht. Dabei wird die Anpassung an technisch bedingte Querschnittsänderungen oder die Abbildung vom theoretischen oder tatsächlichen Ausbruch zu klären sein.

5 Literatur

[1]*Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*, Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2013.

[2]H. Exenberger, „Entwicklung eines digitalen parametergestützten Baugrundmodells: Konzeptentwicklung und Anwendungsbeispiel / Hans Exenberger, BSc“, Universität Innsbruck. [Online]. Verfügbar unter: <https://diglib.uibk.ac.at/ulbtirolhs/content/titleinfo/5490959>

Akzeptanzmodelle zur Berücksichtigung des Faktors Mensch bei der Implementierung von BIM

*Julian Halter*¹

¹Institut für Technologie und Management im Baubetrieb des Karlsruher Institut für Technologie (KIT), julian.halter@kit.edu

Kurzfassung

Building Information Modeling (BIM) als kooperative Arbeitsmethodik auf Basis digitaler Bauwerksmodelle stellt einen der wichtigsten Schritte auf dem Weg zur Digitalisierung des Bausektors dar. Die Implementierung von BIM in einer Organisation bedarf einer umfassenden Umstellung der konventionellen Arbeitsweisen. Die daraus resultierenden Veränderungen betreffen alle Projektbeteiligte, die direkt oder indirekt mit BIM in Berührung kommen. Für die Einführung von BIM in einer Organisation im Bausektor ist eine Implementierungsstrategie notwendig. Die Rolle des Faktors Mensch bleibt in diesen Strategien meist unberücksichtigt. Ein wichtiger Aspekt bei der Umstellung auf eine BIM-basierte Arbeitsweise ist die Akzeptanzbildung. Akzeptanzmodelle bieten die Möglichkeit das latente Konstrukt der Akzeptanz messbar zu machen. In diesem Beitrag werden zunächst Akzeptanzmodelle vorgestellt, die bei der BIM-Implementierung genutzt werden können. Anschließend erfolgt eine Interpretation der Modelle hinsichtlich ihrer Aussagemöglichkeiten zur Berücksichtigung des Faktors Mensch bei der Implementierung von BIM. Anhand der Akzeptanzmodelle wird deutlich, dass die Nützlichkeit und Benutzerfreundlichkeit sowie soziale Einflüsse und unterstützende Rahmenbedingungen wichtige Faktoren sind. Es wird klar, dass es kein übergreifendes einheitliches Implementierungskonzept geben kann, mit dem alle Personen erreicht und überzeugt werden können, sondern bei der Implementierung von BIM verschiedene Personengruppen berücksichtigt werden müssen.

Schlagwörter: BIM, BIM-Implementierung, Faktor Mensch, Akzeptanz

Inhaltsverzeichnis

1	Implementierung von BIM.....	120
1.1	BIM-Implementierung mit Strategie	120
1.2	Faktor Mensch bei der BIM-Implementierung	120
2	Nutzung von Akzeptanzmodellen bei der Implementierung von BIM	123
2.1	Aufbau und Struktur von Akzeptanzmodellen	123
2.2	Identifikation der Akzeptanzmodelle	123
2.3	Sozialpsychologische Akzeptanzmodelle.....	123
2.3.1	Theory of Reasoned Action	123
2.3.2	Theory of Planned Behavior	124
2.4	Technologieorientierte Akzeptanzmodelle.....	125
2.4.1	Technology Acceptance Model.....	125
2.4.2	Unified Theory of Acceptance and Use of Technology.....	126
2.5	Anwendung der Akzeptanzmodelle auf die BIM-Implementierung	128
3	Zusammenfassung und Ausblick.....	130
4	Literatur	130

1 Implementierung von BIM

1.1 BIM-Implementierung mit Strategie

Die Digitalisierung stellt in vielen Bereichen eine der wichtigsten Entwicklungen in den nächsten Jahrzehnten dar. Das bestätigt eine Studie von Roland Berger [1], in der 93% der befragten Akteure davon ausgehen, dass die Digitalisierung die Gesamtheit ihrer Prozesse beeinflussen wird. Entsprechend kommen die Autoren der Studie zu dem Ergebnis, dass auch im Bauwesen an der Digitalisierung kein Weg vorbei geht [1, S. 3]. Building Information Modeling (BIM) als kooperative Arbeitsmethodik auf Basis digitaler Bauwerksmodelle stellt einen der wichtigsten Schritte auf dem Weg zur Digitalisierung des Bausektors dar [2, S. 3]. Von der Planung über die Ausführung, den Betrieb und den Rückbau lassen sich alle relevanten Informationen und Daten eines Bauwerks konsistent digital erfassen und verwalten. Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Arbeitsmethodik BIM ist die transparente Kommunikation, der offene Datenaustausch und die kooperative Zusammenarbeit zwischen den Projektbeteiligten [2, S. 4].

Die Implementierung von BIM in einer Organisation verlangt eine umfassende Umstellung der konventionellen Arbeitsweisen. Diese Aussage wird durch eine Studie von PWC bestätigt. Darin gehen 6 von 10 Unternehmen davon aus, dass sich die Baubranche durch den Einsatz von BIM in den nächsten Jahren stark verändern wird [3].

Die aus der notwendigen Umstellung der Arbeitsweise resultierenden Veränderungen betreffen alle Projektbeteiligte, die direkt oder indirekt mit BIM in Berührung kommen. Aus diesem Grund ist zur Einführung von BIM in einer Organisation im Bausektor eine Implementierungsstrategie notwendig. Laut den Untersuchungen von PWC arbeitet jedes fünfte Unternehmen bereits auf Grundlage einer BIM-Strategie [3]. Etwa 70% der befragten Unternehmen planen oder sind bereits dabei eine solche Strategie zu erstellen. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Großteil der Planungs- und Bauunternehmen die Notwendigkeit und das Potenzial von BIM bereits erkannt.

Der Fokus dieser Strategien liegt jedoch häufig auf den technologischen und prozessualen Aspekten der Implementierung. Wie die beteiligten Menschen in den Veränderungsprozess mit eingebunden werden müssen, bleibt dabei häufig unberücksichtigt. Es hat sich gezeigt, dass die Implementierung von BIM in einer gesamten Organisation und die Umstellung der Arbeitsweise für viele Mitarbeitende aus verschiedenen Gründen eine Herausforderung darstellt und nach tiefergehenden Untersuchungen und Konzepten verlangt.

1.2 Faktor Mensch bei der BIM-Implementierung

Ob die Implementierung von BIM in einem Bauprojekt oder Unternehmen erfolgreich gelingt, wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) definiert in der, in Zusammenarbeit mit buildingSMART erarbeiteten, Richt-

linie VDI/BS-MT 2552 Blatt 8.1 die „fünf BIM-Faktoren, „Menschen“, „Prozesse“, „Daten“, „Technologie“ und „Rahmenbedingungen“ [4, S. 5] sowie deren Wechselwirkungen mit der Umwelt als die maßgeblichen Faktoren, welche bei der Einführung von BIM zu beachten sind.

Diese Faktoren tauchen in dieser oder leicht abgewandelter Form häufig in Implementierungsrichtlinien oder -leitfäden zum Thema BIM auf. Als Kernelemente werden meist die Bereiche Technologie, Menschen, Prozesse und Richtlinien genannt, die den Erfolg der BIM-Methode beeinflussen [5, S. 324, 6, S. 177, 7, S. 21]. Der für BIM essenzielle Bereich der Daten ordnet sich häufig unter dem Überbegriff der Technologie ein.

Wird der Faktor Mensch betrachtet, ist dieser differenziert aus verschiedenen Blickrichtungen zu beleuchten. Zunächst entstehen durch die Einführung von BIM neue Aufgabenfelder. Die damit verbundenen neuen Rollenbilder, wie z. B. BIM-Manager bzw. BIM-Managerin, BIM-Koordinator bzw. BIM-Koordinatorin, BIM-Autor bzw. BIM-Autorin sind inzwischen in nationalen Normen und Richtlinien verankert [8, S. 9–16]. Um die damit einhergehenden veränderten Verantwortlichkeiten und neuen Aufgaben erfüllen zu können, wird spezielles Fachwissen und Erfahrung benötigt. Die dafür notwendigen Qualifikationen sind bereits teilweise vom VDI in seiner nationalen BIM-Richtlinienreihe genauer definiert [4]. Diese neuen Aufgaben und Verantwortlichkeiten bedeuten für viele Projektbeteiligte eine Umstellung ihrer konventionellen Arbeitsweise hin zu einer digitalen BIM-basierten Arbeitsweise. Um diesen Veränderungsprozess erfolgreich durchzuführen und damit eine nachhaltige Implementierung der BIM-Methode zu gewährleisten, müssen die Beteiligten in den Veränderungsprozess eingebunden werden. Die Bedeutung dieses Aspekts wird in der Literatur zwar häufig hervorgehoben, jedoch selten vertieft.

In Bezug darauf, wie die Veränderung der Arbeitsweise gestaltet werden muss, fallen häufig nur Stichwörter. Es wird beispielsweise davon gesprochen, dass die Menschen mit eingebunden werden müssen [9, S. 36], der Mehrwert von BIM in der täglichen Arbeit erkennbar und erlebbar sein sollte [10, S. 33], die Menschen nicht daran interessiert sind ihre Gewohnheiten zu verändern („Gewohnheitstier“), die Bedürfnisse der Menschen berücksichtigt werden müssen, der Veränderungsprozess frustrieren kann und es wichtig ist, die Motivation sicherzustellen. Wie diese Ziele erreicht werden können, bleibt allerdings meist zu großen Teilen unbeantwortet.

Zur Strukturierung und Steuerung des Wandels wird in der Literatur in der Regel empfohlen Methoden und Ansätze aus dem Bereich Change-Management einzusetzen. Das Change-Management bietet grundsätzlich verschiedene Theorien, Ansätze, Konzepte, Handreichungen und Empfehlungen zum Umgang mit Veränderungen innerhalb einer Organisation. Die Schwerpunkte in der Wirtschaftspraxis liegen auf Mergers & Acquisitions, Restrukturierungen, Auslagerungen, Sanierungen, Kostensenkungsprogrammen und Geschäftsprozessoptimierungen [11, S. 100].

Ein Veränderungsprozess, ausgelöst durch neue digitale Technologien und Methoden, geht mit tiefgreifenden Änderungen der Arbeitsweise einher und wird deshalb als digitale Transformation bezeichnet. Diese Veränderungen einer digitalen Transformation gehen über eine Restrukturierung oder Geschäftsprozessoptimierung hinaus bzw. ver-

langen nach spezifischen Lösungsansätzen. BIM stellt für den Bausektor, als eine neue digitale Methode, den Auslöser für eine solche digitale Transformation dar. Mit Blick auf das Change-Management stellt sich hier die Frage, welche Anpassung der vorhandenen Ansätze für eine erfolgreiche Umsetzung der digitalen Transformation in Organisationen im Bausektor notwendig ist.

Deekeling und Egbert [12] beschreiben, wo die Probleme des herkömmlichen Change Managements bei der digitalen Transformation liegen. Es handelt sich nicht nur um eine Prozessverbesserung oder die Einführung neuer IT-Prozesse. Es reicht nicht aus, Mitarbeitende mittels Schulungen zu befähigen. Die digitale Transformation ist ein ergebnisoffener Prozess, weshalb eine Konzeption und Umsetzung in einem möglichst kurzen Zeitraum nicht funktioniert. Vielmehr gleicht die digitale Transformation einem großen Such- und Lernprozess, bei welchem das Testen und Ausprobieren im Vordergrund steht und Planung sowie Umsetzung parallel laufen. [12, S. 7 ff.]

Neben dem Change-Management gibt es eine weitere Disziplin, die einen solchen Wandel aus einem anderen Blickwinkel betrachtet. Die Diffusionsforschung untersucht die Verbreitung einer Innovation innerhalb einer Gesellschaft oder eines sozialen Systems. Dabei wird unter anderem erforscht, welche internen und externen Faktoren bei diesem Prozess eine Rolle spielen. Die Diffusionstheorie ist auf makro- und mikroskopischer Ebene anwendbar. [13, S. 97] Unter Innovationen werden in diesem Zusammenhang meist technische Entwicklungen verstanden.

Als bedeutendstes Werk der Diffusionsforschung gelten die von Everett M. Rogers unter dem Titel „Diffusion of Innovation“ veröffentlichten Untersuchungen [13, S. 97]. Aufbauend auf Rogers Untersuchungen sind in den letzten Jahrzehnten weitere Theorien und Modelle veröffentlicht worden. Viele dieser Modelle versuchen die Prozesse innerhalb eines Nutzungsentscheidungsprozesses näher zu beleuchten und zu beschreiben. Die Akzeptanzbildung stellt den wichtigsten Schritt innerhalb eines Nutzungsentscheidungsprozesses dar. Daher wird im Kontext der Diffusionsforschung häufig von der Akzeptanztheorie gesprochen.

Mit Nutzungsentscheidungsprozessen beschäftigen sich unter anderem die Informationssystemforschung, das Marketing, die Wirtschaftsinformatik und -psychologie sowie die Konsumentenverhaltensforschung [14, S. 16]. Das Verständnis eines Nutzungsentscheidungsprozesses ist notwendig, um ihn später entsprechend steuern zu können. Es existieren bereits viele Theorien und Akzeptanzmodelle, die versuchen den Nutzungsentscheidungsprozess nachzubilden. Aus diesem Grund scheint es sinnvoll bestehende Modelle zu identifizieren und hinsichtlich ihrer Eignung zur Berücksichtigung des Faktors Mensch bei der Implementierung von BIM auszuwerten.

2 Nutzung von Akzeptanzmodellen bei der Implementierung von BIM

2.1 Aufbau und Struktur von Akzeptanzmodellen

Um menschliches Verhalten zu verstehen und vorherzusagen nutzt die Akzeptanzforschung häufig Akzeptanzmodelle in Form von Hypothesenmodellen [15, S. 11]. Hypothesenmodelle bestehen in der Regel aus Konstrukten. Konstrukte stellen theoretische Größen dar, welche in der Regel nicht numerisch messbar sind. Sowohl die Akzeptanz als auch die beschreibenden Einflussfaktoren stellen ein solches latentes Konstrukt dar. Ein Beispiel für ein Konstrukt ist die *Wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit*. Durch Operationalisierung mit Hilfe von sog. Items werden die Konstrukte messbar. Items bestehen meist aus einer Aussage und einer numerisch verankerten Bewertungsskala. Durch die Bewertung der Aussage über eine Befragung wird ihr ein numerischer Wert zugewiesen. Die Pfade stellen Beziehungen zwischen Konstrukten untereinander her. Durch empirische Ermittlung und statistische Tests können Korrelationen unter den Elementen eines Hypothesenmodells sowie Signifikanzen der Pfade und damit die Aussagekraft des Hypothesenmodells bestimmt werden. [16, S. 241 ff.]

2.2 Identifikation der Akzeptanzmodelle

In der Literatur existiert eine Vielzahl an Akzeptanzmodellen [17]. In diesem Artikel sollen nur einige der wichtigsten Modelle vorgestellt und näher betrachtet werden. Königsdorfer und Gröppel-Klein [14, S. 20] geben einen Überblick zu bestehenden Akzeptanzmodellen und zur Erklärung von Nutzungsentscheidungen von technologischen Innovationen. Die finale Auswahl der Modelle orientiert sich an den am häufigsten genannten Modellen in bestehenden Akzeptanzforschungen zu verschiedenen Anwendungsfällen [14, 18–20].

2.3 Sozialpsychologische Akzeptanzmodelle

2.3.1 Theory of Reasoned Action

Die Theory of Reasoned Action (TRA) ¹ stammt aus der Sozialpsychologie und wurde 1975 von Martin Fishbein und Icek Ajzen entwickelt [21]. Die TRA zielt darauf ab, menschliches Verhalten zu verstehen und vorhersagen zu können [22, S. 12]. Die Theorie geht davon aus, dass die Verhaltensintention direkt das Verhalten beeinflusst und basiert damit auf der Grundannahme, dass Menschen sich so verhalten, wie sie es vorhaben zu tun. Die Verhaltensintention hängt dabei von der Einstellung gegenüber

¹ Deutsche Übersetzung: Theorie des überlegten Handelns

dem Verhalten und dem sozialen Druck, ein Verhalten auszuführen, ab. [15, S. 13] Das Basismodell der TRA ist in Abb. 2-1 dargestellt.

Das *Verhalten* ist eine beobachtbare Handlung zu einem bestimmten Zeitpunkt in einer bestimmten Situation mit einem bestimmten Ziel. Die *Verhaltensintention* gilt als Maß der Absicht, dass eine Person ein bestimmtes Verhalten ausführt. Die *Einstellung* steht in der TRA für relativ stabile positive oder negative Bewertungen eines Verhaltens. Die *Subjektive Norm* berücksichtigt die individuelle Wahrnehmung von sozialem Druck, ein bestimmtes Verhalten auszuführen oder davon abzusehen. [15, S. 14 ff.]

Die Theory of Reasoned Action basiert auf der Annahme, dass Menschen ihr Verhalten im Vorfeld überdenken und anschließend rational handeln. Solange diese Voraussetzung erfüllt ist, besitzt das Modell eine gute Vorhersagekraft. Resultiert das Verhalten jedoch aus Gewohnheiten oder emotional beeinflussten Reaktionen stößt die Theorie an ihre Grenzen. Dasselbe gilt, wenn die Person nicht über die Fähigkeiten und Qualifikationen oder notwendige Ressourcen wie Zeit oder Geld verfügt. In diesen Fällen reichen die *Einstellung* und *Subjektive Norm* nicht mehr aus, um das Verhalten einer Person zu erklären. Aus diesem Grund schlug Ajzen [22] und [23] mit der Theory of Planned Behavior eine Erweiterung der Theory of Reasoned Action vor. [15, S. 13-23]

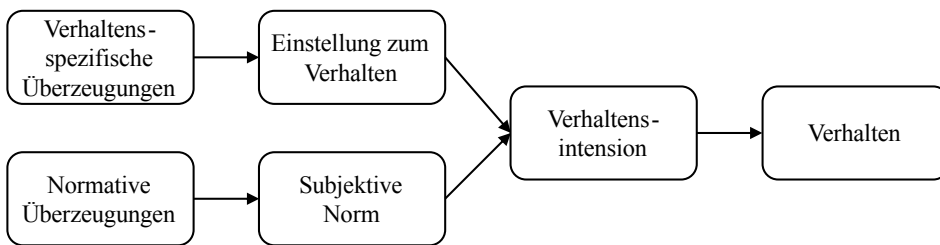


Abb. 2-1: Theory of Reasoned Action nach Ajzen und Fishbein [21, S. 15 ff.]

2.3.2 Theory of Planned Behavior

Die Theory of Planned Behavior (TPB) erweitert die Theory of Reasoned Action um die *Wahrgenommene Verhaltenskontrolle* als einen weiteren Faktor bei der Erklärung des menschlichen Verhaltens [23]. Abb. 2-2 veranschaulicht die TPB.

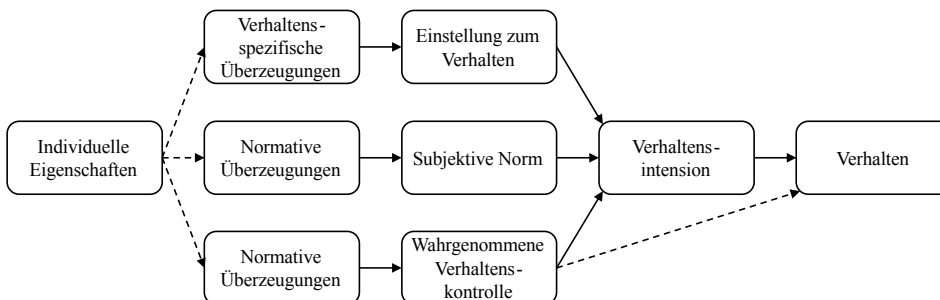


Abb. 2-2: Theory of Planned Behavior nach Ajzen [24, S. 135]

Mit der *Wahrgenommene Verhaltenskontrolle* berücksichtigt die TPB, dass Verhalten nicht immer bewusst kontrollierbar ist, sondern durch externe und interne Faktoren beeinflusst wird. Die *Wahrgenommene Verhaltenskontrolle* beschreibt die Wahrnehmung einer Person, ob die Durchführung eines Verhaltens leicht oder schwierig ist und spiegelt frühere Erfahrungen sowie erwartete Hindernisse und Hemmnisse wider [24, S. 111]. Als interne Einflussfaktoren auf diese Wahrnehmung gelten z.B. persönliche Fähigkeiten, Fertigkeiten, Wissen. Unter externen Faktoren werden unter anderem die verfügbare Zeit und die Abhängigkeit von der Mitarbeit anderer Personen verstanden. [25, S. 456] Es sei darauf hingewiesen, dass ausdrücklich nicht die tatsächliche Schwierigkeit betrachtet wird, sondern ausschließlich die wahrgenommene Kontrolle. Erst durch diese Sichtweise wird dieser komplexe Aspekt messbar. [24, S. 111]

In der TPB wird die Verhaltensintention durch die Konstrukte der *wahrgenommenen Verhaltenskontrolle*, die *Einstellung* und die *Subjektive Norm* als direkte Determinanten beeinflusst. Anders als die *Einstellung* und die *Subjektive Norm* wirkt die *Wahrgenommene Verhaltenskontrolle* nicht ausschließlich auf die Verhaltensintention, sondern kann auch auf direktem Weg das Verhalten bestimmen. Als weitere Ebene beinhaltet die TPB Hintergrundfaktoren, um die *Individuellen Eigenschaften* von Personen zu integrieren [24, S. 134]. Dazu zählen unter anderem soziodemographische Merkmale, allgemeine Wertvorstellungen oder Erfahrungen. Diese Merkmale erklären, warum sich Menschen unterschiedlich verhalten und warum nicht bei jedem Menschen das gleiche Verhalten zu beobachten ist. Die gestrichelten Pfeile in Abb. 9-2 veranschaulichen, dass ein Einfluss dieser Merkmale auf die Konstrukte vorhanden sein kann, jedoch nicht notwendiger Weise vorhanden ist.

2.4 Technologieorientierte Akzeptanzmodelle

2.4.1 Technology Acceptance Model

Das Technology Acceptance Model (TAM) wurde 1986 von Davis mit dem Ziel entwickelt, die Vorhersage der Benutzerakzeptanz von Computern zu ermöglichen [26, S. 7]. Das Modell verfolgt zwei Hauptziele. Zum einen soll es das Verständnis von Nutzerakzeptanzprozessen verbessern sowie Erkenntnisse über die erfolgreiche Gestaltung und Implementierung von Informationssystemen liefern. Zum anderen sollen auf Basis des TAM neue Systeme vor ihrer Implementierung hinsichtlich ihrer Nutzerakzeptanz bewertet werden. Das Technology Acceptance Model ist in Abb. 2-3 dargestellt.

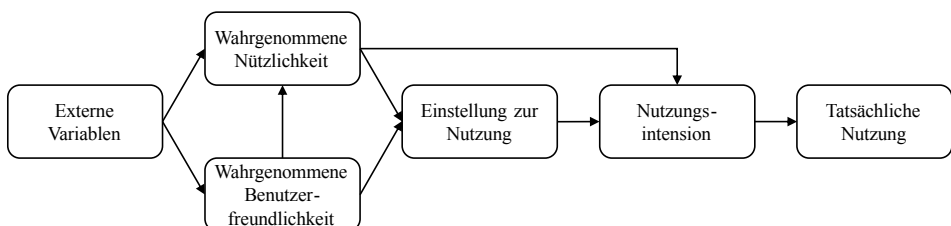


Abb. 2-3: Technology Acceptance Model (TAM) nach Davis et al. [27, S. 985]

Das Modell basiert auf der Theory of Reasoned Action und übernimmt die Grundaussage, dass die *Nutzungsintention* direkt das *Verhalten* einer Person beeinflusst. Im Falle von Technologie ist das die *Tatsächliche Nutzung*. Während die TRA und die TPB allgemeine Modelle zur Erklärung menschlichen Verhaltens darstellen, ist das TAM speziell auf die Untersuchung von Technologieakzeptanz angepasst [28, S. 272]. Der Bezug zur Technologie entsteht durch die beiden Hauptdeterminanten *Wahrgenommene Nützlichkeit* und *Wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit*. Davis definiert die *Wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit* als das Ausmaß, in dem eine Person glaubt, dass die Nutzung eines bestimmten Systems frei von Aufwand ist. Der Fokus liegt auf der Nutzung selbst und der Wahrnehmung, ob eine digitale Technologie einfach zu nutzen ist. Die *wahrgenommene Nützlichkeit* zielt auf den Mehrwert einer Technologie und ist definiert als das Ausmaß, in dem eine Person glaubt, dass die Verwendung eines bestimmten Systems ihre Arbeitsleistung verbessern würde. [29, S. 320]

Das TAM ist eine der einflussreichsten Erweiterungen der Theory of Reasoned Action und gilt als das am weitesten verbreitete Modell zur Beschreibung der Akzeptanz und Nutzung von Technologie [30, S. 343]. Das TAM stellt als erstes Modell dar, dass die Einstellung eines Individuums gegenüber der Nutzung einer Technologie dadurch beeinflusst wird, ob die Technologie als nützlich und einfach zu bedienen wahrgenommen wird. Auf diesen Erkenntnissen basieren viele Entwicklungen im Bereich der IT. Anhand des Modells wird deutlich, dass es Ziel einer Technologie sein muss, einen Mehrwert für die Nutzer zu erzeugen und diese einfach nutzbar zu machen. [31]

2.4.2 Unified Theory of Acceptance and Use of Technology

Das TAM löste in den 1990er Jahren eine Reihe von Forschungsaktivitäten aus. Venkatesh et al. [32] führten die verschiedenen Forschungen mit Hilfe eines empirischen Vergleichs der acht am häufigsten herangezogenen Akzeptanzmodelle zusammen und entwickelten die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) [32]. Die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology erweitert das TAM und berücksichtigt zudem soziopsychologische Theorien wie z.B. die Theory of planned Behavior. 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. Abb. 2-4 zeigt das Modell.

Die ersten drei Konstrukte *Leistungserwartung*, *Aufwandserwartung* und *Sozialer Einfluss* sind direkte Determinanten der Verhaltensintention. Die *Unterstützenden Rahmenbedingungen* zielen hingegen direkt auf das Nutzungsverhalten. Neben den vier Hauptkonstrukten berücksichtigt die UTAUT das *Geschlecht*, das *Alter*, die *Erfahrung* und die *Freiwilligkeit der Nutzung* in Form von moderierenden Variablen [32, S. 447]. Sie sollen dynamische Einflüsse berücksichtigen und damit die Wirkung der einzelnen Determinanten verstärken [32, S. 471]. Das Modell wurde von Venkatesh et al. in einer Längsschnittstudie validiert und zeigt, dass es eine hohe Varianz in der Verhaltensabsicht und dem Nutzungsverhalten erklären kann.

Der besondere Mehrwert der UTAUT besteht darin, dass Sie aufzeigt, welche Faktoren für welche Personengruppe von besonderer Bedeutung sind. Dies wird im Folgenden anhand der vier Hauptkonstrukte näher erläutert.

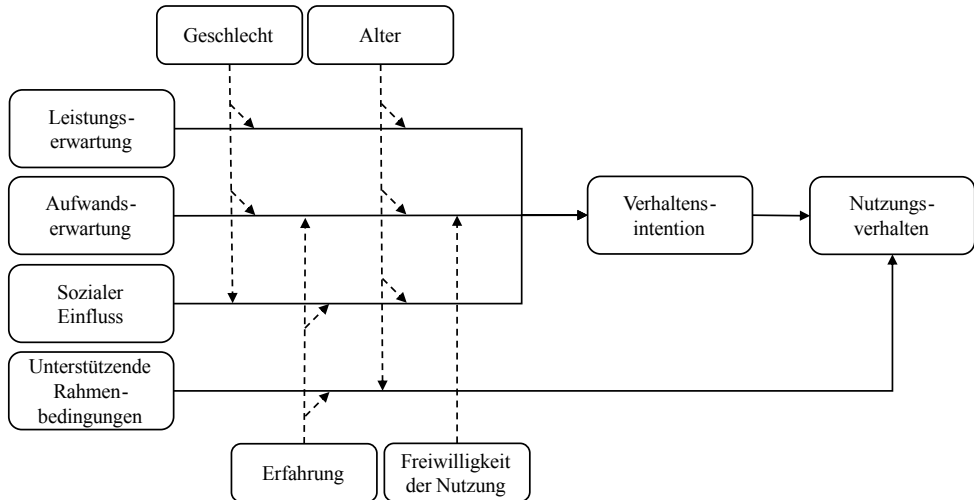


Abb. 4-4: Unified Theory of Acceptance and Use of Technology nach Venkatesh et al. [32, S. 447]

Leistungserwartung

Die *Leistungserwartung* ist definiert als die Erwartung eines Individuums, dass die Nutzung einer digitalen Technologie die eigene Arbeitsleistung verbessern wird [32, S. 447]. Die Untersuchungen von Venkatesh et al. zeigen, dass dieser Faktor vor allem für jüngere Arbeitnehmer insbesondere jüngere Männer bedeutend ist. Jüngere Männer nutzen vor allem dann digitale Technologien, wenn sie davon ausgehen, dass sie einen positiven Einfluss auf ihre Arbeitsleistung haben werden [32, S. 467].

Damit gilt: Um jüngere Männer von einer neuen Technologie zu überzeugen, muss ihnen erklärt und aufgezeigt werden, dass sich mit der Nutzung ihre Arbeitsleistung steigert.

Aufwands-erwartung

Die *Aufwands-erwartung* ist definiert als die Erwartung eines Individuums, dass eine digitale Technologie einfach zu erlernen und bedienen ist [32, S. 450]. Dieser Faktor ist besonders für ältere Frauen und Frauen mit wenig Erfahrung im Umgang mit digitalen Technologien wichtig [32, S. 467].

Damit gilt: Um jüngere Frauen und Frauen mit wenig Erfahrung im Umgang mit digitalen Technologien von einer neuen Technologie zu überzeugen, muss ihnen die Einarbeitung und die Anwendung einfach gemacht werden.

Sozialer Einfluss

Der *Soziale Einfluss* ist definiert als die Wahrnehmung eines Individuums, dass wichtige Personen aus dem persönlichen Umfeld, von ihm oder ihr die Nutzung einer digitalen Technologie erwarten [32, S. 451]. Dieser Faktor ist einerseits für ältere Frauen wichtig, andererseits jedoch auch von Bedeutung, wenn die Nutzung nicht freiwillig ist, sondern von einer anderen Person z.B. einem Vorgesetzten vorgeschrieben wird [32, S. 468].

Damit gilt: Um ältere Frauen von einer neuen Technologie zu überzeugen, muss ihr soziales Umfeld von ihnen die Nutzung erwarten. Für alle Arbeitnehmende gilt, dass sich die Wahrscheinlichkeit einer Nutzung erhöht, wenn die Vorgesetzten eine Nutzung vorgeben.

Unterstützende Rahmenbedingungen

Die *Unterstützenden Rahmenbedingungen* sind definiert als die Erwartung eines Individuums, dass die notwendigen technischen und organisatorischen Ressourcen zur Verfügung stehen, um eine Technologie zu nutzen [32, S. 453]. Der Faktor berücksichtigt die Rahmenbedingungen, die den Einsatz von Technologie erleichtern oder unterstützen bzw. Barrieren bei der Nutzung darstellen. Das kann z.B. der Zugang zum Internet sein, aber auch Schulungsangebote in einer Organisation betreffen. Dieser Faktor ist vor allem für ältere Menschen und Menschen mit entsprechender Erfahrung wichtig. Sie wissen, dass die notwendigen Ressourcen vorhanden sein müssen, damit die Technologie effektiv genutzt werden kann [32, S. 467].

Damit gilt: Um ältere oder erfahrene Personen von einer neuen Technologie zu überzeugen, muss ihnen aufgezeigt werden, dass die technischen und organisatorischen Ressourcen zur Verfügung stehen, um die Technologie erfolgreich zu nutzen.

2.5 Anwendung der Akzeptanzmodelle auf die BIM-Implementierung

Die Theory of Reasoned Action und Theory of Planned Behavior dienen ist erster Linie zur Erklärung und Beeinflussung von menschlichem Verhalten. Sie sind in der Lage Verhaltensweisen in vielen verschiedenen Bereichen zu erklären. Mit diesem Ziel wurden die Theorien bereits bei der Erklärung von Konsumententscheidungen, gesundheitsschädlichem oder -förderlichem Verhalten, Adoption neuer Medien, der Wahl von Verkehrsmitteln, umweltfreundlichem Verhalten, Freizeitverhalten und Karriereentscheidungen genutzt [15, S. 27]. Die Vorteile der Theorien sind die allgemeine Anwendbarkeit und hohe Erklärungskraft [14, S. 23]. Trotz allem besitzen die Theorien zwei zentrale Schwächen. In der Literatur wird vor allem die kognitive Sichtweise auf das Verhalten von Individuen kritisiert [14, S. 24]. Die Annahme, dass Verhaltensweisen immer bewusste und rationale Gründe haben, führt dazu, dass emotionales oder irrationales Verhalten mit den Theorien nicht erklärt werden kann. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass vergangenes Verhalten nicht berücksichtigt wird. [15, S. 28] Auch wenn die Theorien für den betrachteten Anwendungsfall nicht vollständig geeignet scheinen, lässt die breite

Anwendbarkeit den Schluss zu, dass die Theorien auch bei der Berücksichtigung des Faktors Mensch bei der Implementierung von BIM grundlegende Erkenntnisse ermöglichen.

Das Technology Acceptance Model basiert zwar im Grundprinzip auf der TRA, wurde jedoch speziell für die Untersuchung der Akzeptanz von digitalen Informationssystemen entwickelt. Das TAM scheint daher auf den ersten Blick für Aussagen hinsichtlich der Implementierung von BIM geeigneter zu sein. Im TAM wurden zum ersten Mal die *Wahrgenommene Nützlichkeit* und *Wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit* als entscheidende Einflüsse auf das individuelle Nutzungsverhalten von Technologie identifiziert. Übertragen auf die Implementierung der Arbeitsmethodik BIM lässt sich daraus ableiten, dass der positive Einfluss auf die eigene Arbeitsleistung für die Personen erkennbar sein und die Umsetzung der Arbeitsmethodik so benutzerfreundlich wie möglich gestaltet werden muss. Hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit der eingesetzten BIM-fähigen Software ist in vielen Anwendungsfällen noch großes Entwicklungspotenzial vorhanden. Die Benutzerfreundlichkeit lässt sich nicht ausschließlich auf die Technologie, wie z.B. die Software beziehen, sondern auf alle anderen BIM-Faktoren (vgl. Abschnitt 1.2) übertragen.

Funktionierende BIM-Prozesse in einer Organisation sind Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung der BIM-Methodik. Aus Sicht des Faktors Mensch ist jedoch nicht entscheidend, ob diese Prozesse definiert sind und theoretisch funktionieren, sondern wie diese wahrgenommen werden. Werden die Prozesse von den Menschen als herausfordernd, kompliziert und fehleranfällig wahrgenommen, beeinflusst das die Intention sich mit dem Thema BIM zu beschäftigen negativ. Bevor dazu eine eigene Meinung auf Basis von eigenen Erfahrungen gebildet wurde, könnte bereits eine negative Grundeinstellung gegenüber BIM entstehen. Um BIM daher in einer Organisation erfolgreich zu implementieren, muss unter anderem eine positive Wahrnehmung der Arbeitsmethodik sichergestellt sein, um bei einer Einführung Widerstände zu vermeiden. Diese Empfehlungen sind in ähnlicher Form bereits in vielen Implementierungsleitfäden enthalten. Die Akzeptanzmodelle bieten jedoch die Möglichkeit, die Akzeptanz, als latentes Konstrukt, mess- und erklärbar zu machen. Dadurch lassen sich die in den Leitfäden vorgeschlagenen Strategien und Maßnahmen nach der Umsetzung hinsichtlich ihrer Wirkung und Effektivität bewerten.

Als eine der bedeutendsten Weiterentwicklungen des TAM lässt die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology detailliertere Erkenntnisse hinsichtlich der Rolle des Faktors Mensch bei der Implementierung zu. Die Theorie zeigt auf, dass neben der Leistungs- und Aufwandserwartung das soziale Umfeld und die Rahmenbedingungen die Verhaltensabsicht beeinflussen. Zudem wird deutlich, dass die verschiedenen Faktoren auf bestimmte Personengruppen unterschiedlichen Einfluss haben. Damit wird klar, dass es kein übergreifendes einheitliches Konzept geben kann, mit dem alle Personen erreicht und überzeugt werden können, sondern bei der Implementierung von BIM verschiedene Personengruppen berücksichtigt werden müssen.

Mit der Implementierung von BIM in Organisationen sind häufig hohe Erwartungen hinsichtlich Produktivitätssteigerungen und der Optimierung von Geschäftsprozessen

verbunden. Damit Technologien jedoch die Produktivität verbessern können, müssen sie von den Mitarbeitern in Unternehmen akzeptiert und genutzt werden [32, S. 426]. Auch wenn es sich bei BIM nicht direkt um eine Technologie, sondern um eine Arbeitsmethodik handelt, lässt sich diese Aussage auf die BIM-Implementierung übertragen. Das Verständnis des Akzeptanzbildungsprozesses ist somit eine Grundvoraussetzung, um ihn entsprechend steuern zu können. An dieser Stelle sei erwähnt, dass ein genereller Zusammenhang zwischen einer positiven Einstellung gegenüber einer digitalen Technologie nicht automatisch zur Nutzung führt. Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass entsprechendes Wissen über eine Innovation und eine positive Einstellung nicht zwingend zur Nutzung führen. Diese Diskrepanz wird als KAP-Gap bezeichnet [33, S. 77]. In Untersuchungen zu Akzeptanzfaktoren wird daher häufig zwischen Einstellungs- und Verhaltensakzeptanz unterschieden [34, S. 25 ff.].

3 Zusammenfassung und Ausblick

Wie alle Modelle versuchen auch die vorgestellten Akzeptanzmodelle die Realität vereinfachend abzubilden und zugleich die Komplexität des betrachteten Sachverhalts so zu berücksichtigen, dass sie einen Erklärungsbeitrag liefern. Die Rolle des Faktors Mensch während der Implementierung und Umsetzung von BIM ist zu komplex, um ein allumfassendes Modell zu entwickeln mit dem alle Einflussfaktoren, Abhängigkeiten, Personentypen und Rahmenbedingungen berücksichtigt werden können. Die Akzeptanzmodelle schaffen jedoch eine Annäherung an die Realität und können die Implementierung mit wertvollen Erkenntnissen unterstützen. Die Nutzung der Akzeptanzmodelle als ein Baustein innerhalb des Change-Managements scheint daher ein vielversprechender Ansatz zu sein, um den durch die Implementierung von BIM ausgelösten Veränderungsprozess möglichst erfolgreich zu gestalten und Frustration sowie Überlastung bei den Beteiligten zu vermeiden. Im nächsten Schritt sollten die vorgestellten und weitere Akzeptanzmodelle detailliert auf ihre Anwendbarkeit bei der Implementierung von BIM untersucht werden. Es sollte in Betracht gezogen werden, ein neues Akzeptanzmodell zu entwickeln, welches die spezifischen Besonderheiten von BIM berücksichtigt. Anschließend könnten aus diesem Modell und den darin enthaltenen Einflussfaktoren und Abhängigkeiten Handlungsempfehlungen sowie Maßnahmen zur Steigerung der Akzeptanz von BIM abgeleitet werden.

4 Literatur

[1]Roland Berger GmbH, Hg., *Digitalisierung der Bauwirtschaft: Der europäische Weg zu „Construction 4.0“*, 2016.

[2]Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hg., *Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken*, 2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.html>

-
- [3]PricewaterhouseCoopers GmbH, *Digitalisierung der deutschen Bauindustrie*, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/studie-digitales-bauen-nimmt-fahrt-auf.html>
- [4]*Building Information Modeling: Qualifikationen - Basiskenntnisse*, VDI/BS-MT 2552 Blatt 8.1:2019-01, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2019.
- [5]R. Sacks, C. M. Eastman, G. Lee und P. M. Teicholz, *BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*, 3. Aufl. Hoboken: Wiley, 2018.
- [6]M. Stange, *Building Information Modelling im Planungs- und Bauprozess: Eine quantitative Analyse aus planungsökonomischer Perspektive*, 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020.
- [7]M. Egger, K. Hausknecht, T. Liebich und J. Przybylo, *BIM-Leitfaden für Deutschland: Information und Ratgeber. Endbericht*.
- [8]*Building Information Modeling: Prozesse*, VDI 2552 Blatt 7:2020-06, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2020.
- [9]S. Kröger, *BIM und Lean Construction: Synergien zweier Arbeitsmethodiken*, 1. Aufl. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag, 2018.
- [10]DB AG, Hg., *BIM-Strategie: Implementierung von Building Information Modeling (BIM) im Vorstandsressort Infrastruktur der Deutschen Bahn AG*.
- [11]K. Doppler und C. Lauterburg, *Change Management: Den Unternehmenswandel gestalten*, 14. Aufl. Campus Verlag, 2019.
- [12]E. Deekeling und D. Barghop, *Kommunikation in der digitalen Transformation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017.
- [13]V. Karnowski und A. S. Kümpel, „Diffusion of Innovations“ in *Schlüsselwerke der Medienwirkungsforschung*, M. Potthoff, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015, S. 97–107, doi: 10.1007/978-3-658-09923-7_9.
- [14]J. Königstorfer, *Akzeptanz von technologischen Innovationen: Nutzungsentscheidungen von Konsumenten dargestellt am Beispiel von mobilen Internetdiensten*, 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2008.
- [15]C. Rossmann, *Theory of Reasoned Action - Theory of Planned Behavior*, 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos, 2011.
- [16]G. Bandow und H. H. Holzmüller, *Das ist gar kein Modell!: Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2010.
- [17]K. Larsen und D. Eargle, *Theories Used in IS Research Wiki*. [Online]. Verfügbar unter: https://is.theorizeit.org/wiki/Main_Page (Zugriff am: 23. März 2022).
- [18]L. Fazel, *Akzeptanz Von Elektromobilität: Entwicklung und Validierung Eines Modells Unter Berücksichtigung der Nutzungsform des Carsharing*, 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2014.
- [19]M. Groß, *Mobile Shopping: Eine konsumentengerichtete, empirische Akzeptanzanalyse zentraler Einflussgrößen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017.
- [20]D. Scheuer, *Akzeptanz von Künstlicher Intelligenz: Grundlagen intelligenter KI-Assistenten und deren vertrauensvolle Nutzung*, 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020.
- [21]M. Fishbein und I. Ajzen, *Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research*. Addison-Wesley, 1975.

- [22]I. Ajzen, „From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior“ in *SSSP Springer Series in Social Psychology, Action Control: From Cognition to Behavior*, J. Kuhl und J. Beckmann, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer, 1985, S. 11–39, doi: 10.1007/978-3-642-69746-3_2.
- [23]I. Ajzen, „The Theory of Planned Behavior“, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Jg. 50, Nr. 2, S. 179–211, 1991, doi: 10.1016/0749-5978(91)90020-T.
- [24]I. Ajzen, *Attitudes, personality and behavior*, 2. Aufl. Maidenhead: Open University Press, 2011.
- [25]I. Ajzen und T. J. Madden, „Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions, and perceived behavioral control“, *Journal of Experimental Social Psychology*, Jg. 22, Nr. 5, S. 453–474, 1986, doi: 10.1016/0022-1031(86)90045-4.
- [26]F. D. Davis, „A Technology Acceptance Model for empirically testing new end-user information systems: Theory and Results“. *Dissertation*, Massachusetts Institute of Technology, 1986.
- [27]F. D. Davis, R. P. Bagozzi und P. R. Warshaw, „User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models“, *Management Science*, Jg. 35, Nr. 8, S. 982–1003, 1989, doi: 10.1287/mnsc.35.8.982.
- [28]V. Venkatesh, F. Davis und M. Morris, „Dead Or Alive? The Development, Trajectory And Future Of Technology Adoption Research“, *Journal of the Association for Information Systems*, Jg. 8, Nr. 4, S. 267–286, 2007, doi: 10.17705/1jais.00120.
- [29]F. D. Davis, „Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology“, *MIS Quarterly*, Jg. 13, Nr. 3, S. 319–340, 1989, doi: 10.2307/249008.
- [30]V. Venkatesh, „Determinants of Perceived Ease of Use: Integrating Control, Intrinsic Motivation, and Emotion into the Technology Acceptance Model“, *Information Systems Research*, Jg. 11, Nr. 4, S. 342–365, 2000, doi: 10.1287/isre.11.4.342.11872.
- [31]Y. Lee, K. A. Kozar und K. R. Larsen, „The Technology Acceptance Model: Past, Present, and Future“, *Communications of the Association for Information Systems*, Jg. 12, 2003, doi: 10.17705/1CAIS.01250.
- [32]V. Venkatesh, M. G. Morris, G. B. Davis und F. D. Davis, „User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View“, *MIS Quarterly*, Jg. 27, Nr. 3, S. 425–478, 2003, doi: 10.2307/30036540.
- [33]V. Karnowski, *Diffusionstheorie*, 2. Aufl. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 2017.
- [34]D. Müller-Böling und M. Müller, *Akzeptanzfaktoren der Bürokommunikation*. München, Wien: Oldenbourg, 1986.

BIM als lebenszyklusübergreifender Lösungsansatz im Krankenhausbau

*Sabine Hartmann*¹

¹ Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen, hartmann@icom.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Krankenhäuser zählen zu hochinnovativen Einrichtungen und müssen dem medizinischen Fortschritt folgen. Das Krankenhausgebäude, als Mittelpunkt der medizinischen Daseinsvorsorge, muss auf diesen Fortschritt entsprechend reagieren, um neuer Technik Raum zu geben und neue Anforderungen umzusetzen. Voraussetzung hierfür sind jedoch entsprechende finanzielle Mittel durch die Länder, um Investitionen durchzuführen. Die Unterfinanzierung im Bereich der Investitionen nahm jedoch in den letzten Jahren in deutschen Krankenhäusern deutlich zu. Eine unzureichende Investitionsquote hat eine Überalterung und Abbau der notwendigen baulich-technischen Infrastruktur zur Folge, welche sich auf die medizinische Versorgung der Patienten auswirken kann. Diesem Dilemma kann durch die Anwendung der digitalen Planungsmethode Building Information Modeling (BIM) entgegengewirkt werden. Durch eine transparente gemeinsame Zusammenarbeit können in der Planung Schnittstellenfehler, welche zu höheren Kosten führen, verringert werden und projektspezifische Gesamtkosten automatisiert überwacht werden. BIM bietet dabei nicht nur einen digitalen Lösungsansatz für die Erstellung des Gebäudes, sondern kann über den gesamten Lebenszyklus angewendet werden. Insbesondere der Krankenhausbau, bei welchem laufend auf neue medizinische Methoden und Techniken sowie Anforderungen reagiert werden muss, lässt sich durch BIM auch für den Betrieb zur Strukturierung der Abläufe ein großer Mehrwert feststellen. Zur Förderung der Implementierung von BIM in die Praxis sind jedoch krankenhausspezifische Handlungsempfehlungen, zum Beispiel in Form eines Leitfadens, empfehlenswert.

Schlagwörter: Klinikbau, Building Information Modeling im Gesundheitssektor, Krankenhauszukunftsgesetz, Digitalisierung im Krankenhausbau, Krankenhausfinanzierung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	136
2	Status Quo des Gesundheitssektors auf nationaler Ebene	137
2.1	Finanzierungsmodell	137
2.2	Zahlen und Fakten	137
2.3	Ursachen und Auswirkungen der Unterfinanzierung	140
3	Digitaler Lösungsansatz.....	140
3.1	Krankenhauszukunftsgesetz	140
3.2	BIM zur Verbesserung der digitalen Infrastruktur	141
3.3	Analyse des Status Quo der BIM-Anwendung im Gesundheitssektor	143
3.4	Fazit und Ausblick - Umsetzung mithilfe eines Leitfadens	146
4	Literaturverzeichnis	147

1 Einleitung

Gerald Gaß, Präsident der Deutschen Krankenhausgesellschaft, schlägt Alarm: „Die seit Jahrzehnten anhaltende chronische Unterfinanzierung, vor allem durch Ausbleiben ausreichender Investitionskostenfinanzierung der Länder, droht die bisher gute Krankenhausversorgung zu gefährden.“ [1]

Krankenhausbauten zählen zu sehr komplexen Bauwerken und stellen beteiligte Planer, Betreiber und ausführende Bauunternehmen vor große Herausforderungen. Denn neben den typischen Projektbeteiligten spielen im Krankenhausbau auch weitere Akteure, wie Ärzte und Pflegekräfte eine bedeutende Rolle, mit welchen es aufgrund von fehlender Einbindung ins Projekt bzw. mangelnder Kommunikation häufig zu Konflikten und folglich Planungsverzögerungen kommt. [6, S. 9] Die Krankenhausplanung erfordert eine durchgängige hochwertige Qualität, da die Medizintechnik viele Schnittstellen zu den anderen Gewerken, insbesondere im Zusammenhang mit der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA), hat und die Neigung zu Schnittstellenfehlern zwischen den Gewerken vergleichsweise hoch ist. Des Weiteren sind im Planungsprozess eine Menge an Anforderungen wie, städtebauliche, ökologische, funktionelle, medizinische, hygienische, betriebliche, technische und wirtschaftliche Anforderungen zu berücksichtigen. Außerdem erfordern stetige Transformationen in der Medizintechnik und neue Behandlungsmöglichkeiten sowie der demografische Wandel der Bevölkerung ein hohes Maß an Flexibilität in den Gebäudestrukturen und Prozessabläufen. [ebd., S. 2] Denn je kürzer die Innovationszyklen der Medizintechnik werden, an welche das Bauwerk, aufgrund von erhöhtem Platzbedarf und Anforderungen, angepasst werden muss, desto schneller steigen die Kosten für Investitionen in Bau und Betrieb [ebd., S. 5].

Damit Krankenhäuser zukunftsfähig, nachhaltig und wirtschaftlich betrieben werden können, muss schnell und flexibel mit Veränderungen umgegangen werden. Aktuell müssen Klinikbetreiber kurzfristig auf den erforderlichen Bedarf reagieren; die Effizienz wird zunächst nicht berücksichtigt. Dadurch werden bauliche oder personelle Ressourcen häufig verschwendet, wodurch die Wettbewerbsfähigkeit der Klinik leidet. [6, S. 2] In diesem Paper wird behandelt, wie sich der Gesundheitssektor in Deutschland seit Jahrzehnten entwickelt, welchen Hintergrund die Unterfinanzierung der Kliniken in Deutschland hat und wie man diesem zukünftig entgegenwirken kann. Anhand einer umfangreichen Literaturrecherche wurde das Finanzierungssystem der Krankenhäuser betrachtet und abgewogen, inwieweit die Möglichkeit der Digitalisierung der finanziellen Problematik entgegenwirken kann. Des Weiteren wird durch die Betrachtung von 20 nationalen und internationalen BIM-Referenzprojekten der Implementierungsstand der BIM-Anwendung untersucht. Im Rahmen einer Interviewauswertung wird zudem analysiert, welchen Mehrwert eine digitalisierte Planung des Gebäudes und folglich eine digitale Bestandsdokumentation des Bauwerks für den Betrieb mit sich bringt.

2 Status Quo des Gesundheitssektors auf nationaler Ebene

Der Gesundheitssektor in Deutschland unterzieht sich derzeit einen signifikanten Wandel. Dieser ist geprägt durch den technischen und medizinischen Fortschritt und damit immer fachspezifischeren Leistungen, wodurch in den Krankenhäusern eine immer individuellere Versorgungsleistung für die Patienten ermöglicht wird. Die Basis für eine patientenorientierte Leistung bildet jedoch das Vorhandensein einer modernen Gebäudestruktur mit einer leistungsfähigen medizinischen, baulichen und informationstechnischen Infrastruktur. Durch den schnellen Wandel ergeben sich hierfür stets neue Anforderungen, wodurch bestehende Kliniken nicht mehr effizient genutzt werden können und Investitionen erforderlich sind. [6, S. 200]

2.1 Finanzierungsmodell

In Deutschland bildet das Krankenhausfinanzierungsgesetz (KHG) die bedeutendste rechtliche Grundlage für die Finanzierung und Planung von Krankenhäusern. [7, S. 3] Dieses verfolgt folgende Absicht:

„Zweck dieses Gesetzes ist die wirtschaftliche Sicherung der Krankenhäuser, um eine qualitativ hochwertige, patienten- und bedarfsgerechte Versorgung der Bevölkerung mit leistungsfähigen digital ausgestatteten, qualitativ hochwertigen und eigenverantwortlich wirtschaftenden Krankenhäusern zu gewährleisten und zu sozial tragbaren Pflegesätzen beizutragen.“ [§ 1 Abs. 1 KHG].

Gemäß KHG ist die Krankenhausfinanzierung auf Bundesebene durch ein duales Finanzierungssystem geregelt. Dabei wird zwischen der Investitionskostenfinanzierung der Betriebskostenfinanzierung differenziert. Unter Betriebskosten fallen Kosten für den gesamten medizinischen Bedarf, die Medizintechnik sowie Personalkosten, welche von den Krankenkassen finanziert werden. Zu den Investitionskosten zählen Kosten für die Errichtung (Neubau, Umbau und Erweiterungsbau) von Kliniken, des Erwerbs von Anlagegütern sowie Kosten der Wiederbeschaffung der Güter des zum Krankenhaus gehörenden Anlagevermögens. Die Investitionsfinanzierung durch die Länder gliedert sich dabei in zwei weitere Bereiche, die Einzelförderung und die Pauschalförderung. [7, S. 3 f.]

Die Einzelförderung finanziert überwiegend Neu- und Erweiterungsbauten, während die Pauschalförderung für kleinere Baumaßnahmen und Wiederbeschaffungen von Anlagegütern dient, deren Höhe sich an der Versorgungsstufe und an der Bettenanzahl orientiert, jedoch in den unterschiedlichen Bundesländern variiert. [4, S. 9]

2.2 Zahlen und Fakten

In diesem Kapitel wird die Krankenhausentwicklung anhand von Zahlenwerten in den letzten 30 Jahren betrachtet. Da seit Beginn der Corona-Pandemie viele Betten für Corona-Patienten frei gehalten wurden, Behandlungen verschoben wurden und viele auf

einen nicht dringenden Krankenhausaufenthalt verzichteten, wurden Zahlenwerte ab 2020 nicht in die Auswertung miteinbezogen, um ein möglicherweise verzerrtes Ergebnis zu vermeiden.

Angesichts der Zunahme von Zahl und Anteil der älteren Menschen in Deutschland und einem Bevölkerungszuwachs um etwa 4 % von 1991 bis 2019, sind hingegen die Fallzahlen in den Krankenhäusern im gleichen Zeitraum um ca. 33 % gestiegen (s. Abb. 2-1) [3, IAQ].

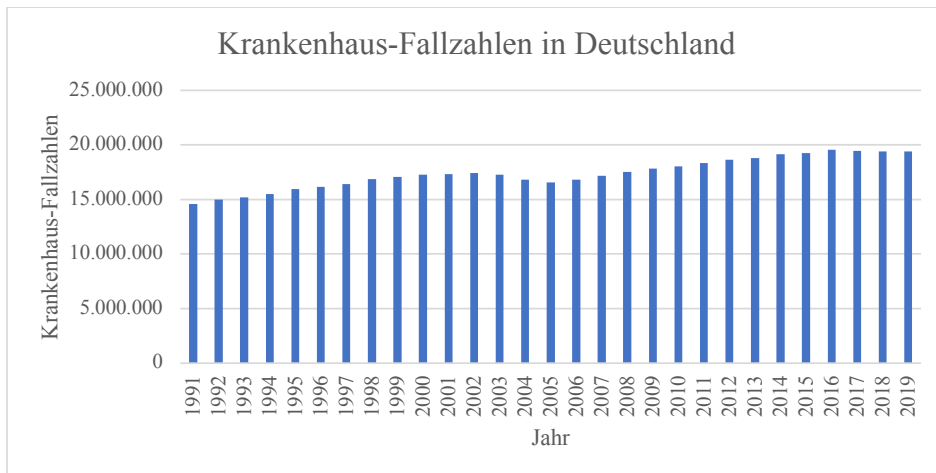


Abb. 2-1: Jährliche Fallzahlen in Deutschland von 1991 bis 2019
(eigene Darstellung; Werte aus [Destatis])

Obwohl hinsichtlich des demografischen Wandels zukünftig mit einem weiteren Anstieg der Krankenhausfallzahlen zu rechnen ist, so ist die Zahl der Krankenhausbetten in Deutschland in den letzten drei Jahrzehnten deutlich zurück gegangen. 1991 standen nach Angaben des Statistischen Bundesamtes 665.565 Betten bereit; 2019 waren es nur noch 494.326 Betten, was einen Rückgang von ca. 26 % entspricht (s. Abb. 2-2).

Dies lässt sich unter anderem auf den Rückgang der gesamten Krankenhausanzahl in Deutschland zurückführen. Während 1991 insgesamt noch 2.422 Kliniken zur Verfügung standen, sank die Anzahl bis 2019 auf 1.914. Dies bedeutet eine Reduktion um etwa 21 % (s. Abb. 2-3).

Die gegenläufigen Trends von Betten- und Fallzahlen lassen sich durch die fallende Verweildauer erklären, welche sich in den letzten 30 Jahren um rund die Hälfte von 14 auf 7,2 Behandlungstage im Durchschnitt reduziert hat (s. Abb. 2-4).

Der Rückgang der Verweildauer ist zum einen auf neue diagnostische, therapeutische und operative Verfahren zurückzuführen, zum anderen insbesondere auf die Einführung von Fallpauschalen pro Patienten. Da allein die Patientenaufnahme per Pauschale, unabhängig der tatsächlich entstandenen Kosten, honoriert wird, besteht vor allem ein starker ökonomischer Anreiz, die Verweildauer zu begrenzen, da ein hoher finanzieller Druck auf den Krankenhäusern lastet. [IAQ]

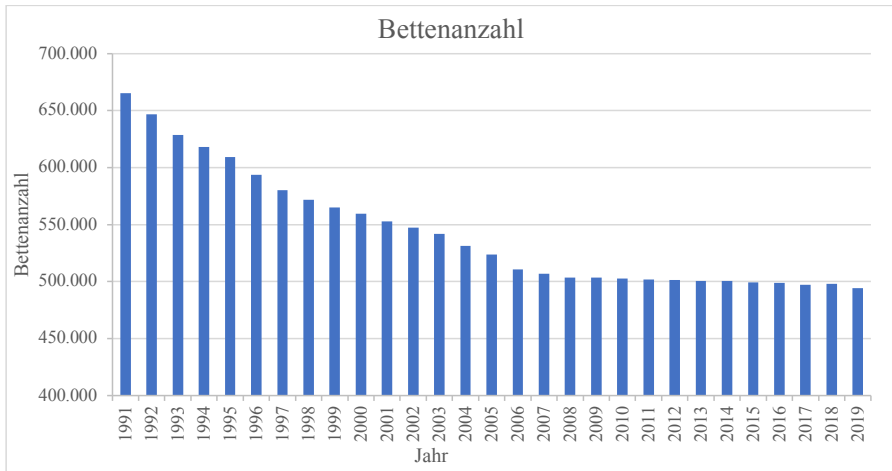


Abb. 2-2: Rückgang der Bettenanzahl in deutschen Krankenhäusern von 1991 bis 2019
(eigene Darstellung; Werte aus [Destatis])

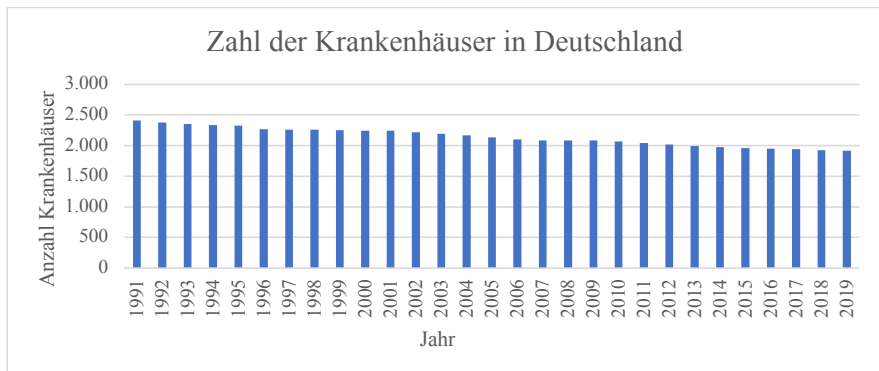


Abb. 2-3: Abnahme der Krankenhausanzahl in Deutschland von 1991 bis 2019
(eigene Darstellung; Werte aus [Destatis])

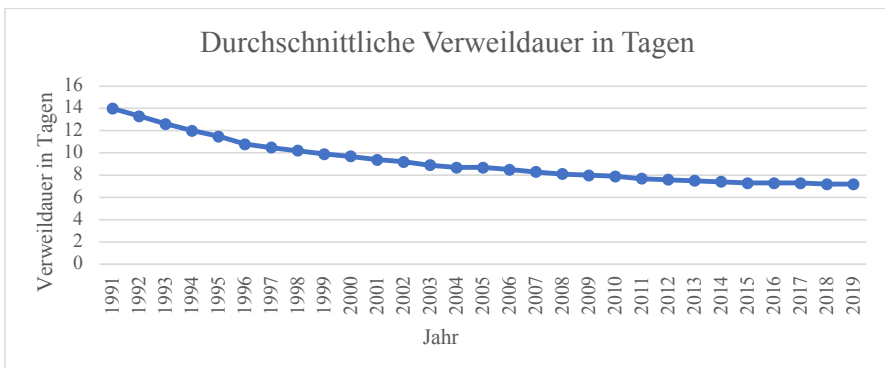


Abb.2-4: Sinkende Verweildauer in deutschen Kliniken von 1991 bis 2019
(eigene Darstellung; Werte aus [Destatis])

2.3 Ursachen und Auswirkungen der Unterfinanzierung

Die ausschlaggebende Ursache für die geringe Investitionsfähigkeit der Krankenhäuser ist eine nicht ausreichende Finanzierung durch die Bundesländer. Demnach müssen betriebswirtschaftlich erforderliche Investitionen gezwungenermaßen selbst finanziert werden, wodurch das Betriebsergebnis gemindert und das Verlustrisiko erhöht wird. [4, S. 7]

„Faktisch wird nur noch die Hälfte der Krankenhausinvestitionen aus öffentlichen Fördermitteln bestritten. Die andere Hälfte der erforderlichen Investitionen steuern die Krankenhäuser anderweitig bei, etwa über Überschüsse aus den Leistungsentgelten. Die Gewinnmargen der Krankenhäuser reichen aber zumeist nicht aus, um den Investitionsbedarf zu decken oder Kredite finanzieren zu können. Nur jeweils rund ein Viertel der Krankenhäuser hat in den letzten Jahren eine hinreichende Rendite zur Finanzierung notwendiger Investitionen erzielt oder erwartet dies für die Zukunft.“ [ebd., S. 7]

Die geringe Investitionsfähigkeit und Investitionsquote gefährdet die Perspektive der deutschen Gesundheitsversorgung, da Krankenhäuser zu Sparmaßnahmen greifen müssen, was eine Verschlechterung der Arbeitsbedingungen, des Komforts sowie des baulichen Zustands mit sich bringt. [8] Eine Überalterung und ein Abbau der notwendigen baulich-technischen Infrastruktur kann sich schließlich auch auf den Patienten auswirken, da schlecht ausgestattete Krankenhäuser keine optimale und qualifizierte medizinische Leistungserbringung ermöglichen. [4, S. 7]

Demnach bedarf es Methoden, die verfügbaren finanziellen Mittel effizient einzusetzen und nachhaltige Gebäudestrukturen zu schaffen, die auch den künftigen Bedarf abdecken können und dabei eine Flexibilität im gesamten Lebenszyklus ermöglichen.

3 Digitaler Lösungsansatz

Um dem Investitionsstau in Klinken entgegenzuwirken und somit die Zukunft der Krankenhäuser sowie deren Wirtschaftlichkeit sicherzustellen, müssen dringend effiziente Lösungsansätze erarbeitet werden. Die Digitalisierung der Gebäudestrukturen bietet im gesamten Lebenszyklus große Potentiale, die Wirtschaftlichkeit in Projekten des Gesundheitswesens zu steigern.

3.1 Krankenhauszukunftsgesetz

Der Investitionsstau in den deutschen Krankenhäusern von rund 30 Milliarden Euro war auch der alten Bundesregierung und dem ehemaligen Bundesgesundheitsminister Jens Spahn bekannt. Spahn war die fehlende Digitalisierung der deutschen Kliniken bewusst und sah in diesem Bereich Nachholbedarf. [14]

Dieser Tatsache soll das im Oktober 2020 in Kraft getretene Krankenhauszukunftsgesetz (KHZG) entgegenwirken. Ab Januar 2021 stellt der Bund 3 Milliarden Euro für die Digitalisierung von Krankenhäusern zur Verfügung, während die Länder weitere Investitionsmittel von 1,3 Milliarden Euro aufbringen sollen. [2]

Dabei sollen die Mittel zum einen in moderne Notfallkapazitäten fließen, zum anderen in eine bessere digitale Infrastruktur, wie elektronische Dokumentation von Pflege- oder Behandlungsleistungen, Patientenportale, digitales Medikationsmanagement, sektorenübergreifende telemedizinische Netzwerkstrukturen sowie Maßnahmen zur Sicherung der IT. [ebd.]

Hauptaugenmerk liegt demnach auf den Betrieb und die Organisation und Sicherheit von Abläufen und Patientendaten.

3.2 BIM zur Verbesserung der digitalen Infrastruktur

Das Krankenhausgebäude, als Mittelpunkt des medizinischen Versorgungsauftrags, ist nicht nur die Arbeitsstätte der Ärzte und Pfleger, sondern ebenso ein bedeutsamer Bestandteil der Wahrnehmung der medizinischen Versorgung des Patienten. Demzufolge ist ein wirtschaftlicher Betrieb des Gebäudes von elementarer Bedeutung, damit sich dies positiv auf den Betrieb, die Effektivität der Mitarbeiter und die qualifizierte Versorgung der Patienten auswirken kann. [5]

Dass Gebäudestrukturen von Kliniken, vor allem der Komfort und die Umgebung, einen bedeutsamen Einfluss auf die qualifizierte Behandlung und den Heilungsprozess haben, lässt sich durch Forschungsergebnisse der University of Salford aus England belegen. Insbesondere psychologische Faktoren, wie die Wahrnehmung des Patienten, ob die bauliche Umgebung und das soziale Umfeld das Wohlbefinden und damit eine erfolgreiche Regeneration fördert, spielen dabei eine elementare Rolle. [11]

Aufgrund dieser Aspekte ist es bedeutend, dass das Krankenhausgebäude über den gesamten Lebenszyklus einen hohen baulichen Komfort bietet und wirtschaftlich betrieben wird. Um diesen Herausforderungen zukünftig Rechnung zu tragen, bietet die Implementierung der Building Information Modeling-Anwendung als digitale Technologie und Methode einen entsprechenden Lösungsansatz. Nach VDI 2552 Blatt 2 bietet Building Information Modeling (BIM) eine kollaborative Methodik über den gesamten Lebenszyklus auf Grundlage eines digitalen Bauwerks-Informationsmodells. Durch die Erstellung eines digitalen Bauwerks-Informationsmodells, ist es demnach möglich, alle relevanten Daten und Informationen zu sammeln, welche für die funktionalen, physikalischen, kosten- und zeitbezogenen Eigenschaften eines Bauwerks von Bedeutung sind. Dieses generierte Datenmodell wird über alle Projektphasen fortgeschrieben und kann phasenspezifisch für verschiedene Anwendungsfälle eingesetzt werden.

Insbesondere bei Betrachtung einer verbesserten Planungsqualität oder Optimierung von Termin- und Kostenzielen lassen sich Vorteile erzielen. Auch die Nutzungs- und Betriebsphase kann durch die Bereitstellung aller betriebsrelevanten Informationen in einem digitalen Bauwerksmodell, dem As-Built-Modell, vereinfacht und somit kostengünstiger erfolgen. Diese Vorteile sind auf ein vollständiges und transparentes Informationsmanagement, basierend auf dem As-Built-Modell, sowie die kollaborative und interdisziplinäre Arbeitsweise seit Projektbeginn zurückzuführen. Anhand der integralen Planungsweise können sowohl für die Planungs- und Ausführungsphase, als auch für den Betrieb bedeutende Vorteile erzielt werden. [6]

Im Rahmen einer Umfrage zu Chancen und Herausforderungen wurden ein Architekturbüro und ein TGA-Planungsbüro, welche im Krankenhausbau tätig sind, sowie vier Klinikbetreiber zu den Chancen und Herausforderung der BIM-Methode im Krankenhausbau befragt. Zudem wurden die Beteiligten zur Schnittstellenproblematik in der konventionellen Planung im Krankenhausbau, sowie zum Stand der BIM-Implementierung im Unternehmen befragt. Dabei konnten vier von sechs befragten Institutionen bzw. Unternehmen bereits erste Erfahrungen bei der Planung mit BIM sammeln; die weiteren Befragten planen zukünftig den Einsatz der BIM-Anwendung. Die genannten Chancen und Herausforderung sind zusammengefasst, unterteilt nach Planungs-, Ausführungs- und Betriebsphase in den folgenden Tabellen dargestellt.

Chancen der BIM-Anwendung im Krankenhausbau		
Planungsphase	Bauphase	Betriebsphase
Höhere Planungsqualität	Bessere Umsetzbarkeit aufgrund korrekter Planung	Digitaler Zwilling für Instandhaltungen
Kollisions- und Plausibilitätsprüfung	Vereinfachte Objektüberwachung	Vollständige Dokumentation
Lebenszyklusanalyse	Terminüberwachung (Soll-Ist-Abgleich)	Datenbank für täglichen Betrieb (z. B. notwendige Wartungen)
Reduktion von Fehlern (insbesondere bei Schnittstellen)	Digitale Mängelerfassung	Vollständige Dokumentation für zukünftige Umbaumaßnahmen
Zeitmanagement	Vermeidung baulicher Fehler	Störmeldungen mittels Digitalen Zwillings
Verbesserte Abstimmung mit Nutzern	Verfügbarkeit aller Informationen	Verknüpfung CAFM mit BIM-Modell
Variantenprüfung	Einfache Dokumentation bei Änderungen (Direkte Änderungen im Modell)	Verbessertes Facility Management
Verbesserte Kommunikation		
Kostenüberwachung- und -sicherheit		

Tab. 3-1: Umfrageergebnis - Chancen der BIM-Anwendung im Krankenhausbau

Herausforderungen der BIM-Anwendung im Krankenhausbau		
Planungsphase	Bauphase	Betriebsphase
Funktion der IFC-Schnittstelle nicht einwandfrei	konsequentes Nachhalten des Modells und der Informationen	konsequentes Nachhalten des Modells und der Informationen (zusätzliche Personalkosten)
Change Management im Unternehmen (zusätzliche Kosten)	Internetzugang zur Nutzung der Online-Daten erforderlich	Change Management / Fachkräftemangel
Überzeugung der Beteiligten	Fehlendes Know-How im Umgang mit Software	
Planungsaufwand verschiebt sich nach vorne („frühe Festlegung ungewohnt“)		
Fehlender Ausbau BIM-Richtlinien		
Fehlende Angaben zu Dokumentationstiefen		

Tab. 3-2: Umfrageergebnis - Herausforderungen der BIM-Anwendung im Krankenhausbau

3.3 Analyse des Status Quo der BIM-Anwendung im Gesundheitssektor

Trotz der aufgeführten Herausforderungen findet die BIM-Methode im Krankenhausbau bereits häufig Anwendung. Der nationale und internationale Implementierungsgrad der BIM-Methode ist zwischen den einzelnen Ländern jedoch sehr unterschiedlich. International gibt es bereits einige Länder (Singapur, Finnland, Großbritannien etc.), die bereits in der BIM-Anwendung sowohl auf strategischer als auch auf operativer Ebene sehr fortschrittlich unterwegs sind. Die flächendeckende Einführung von BIM hat auch in Deutschland bereits einen hohen Stellenwert erreicht. Aktuell wird intensiv daran gearbeitet, Leitplanken und Standards auf nationaler Ebene zu schaffen. In Deutschland wird die Implementierung von BIM sowohl durch die Wissenschaft als auch aus staatlicher Sicht durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) und das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) vorangetrieben. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurde 20 nationale und internationale BIM-Projekte im Gesundheitssektor näher analysiert und nach Projektart, und -größe klassifiziert.

BIM-Referenzprojekte im Krankenhausbau		
international		
1	Sykehuset Østfold	Fredrikstad, Norwegen
2	Universitätsklinikum Aarhus	Aarhus, Dänemark
3	Felix Platter Hospital	Basel, Schweiz
4	Claraspital	Basel, Schweiz

5	Hochgebirgsklinik Davos	Davos, Schweiz
6	Spital Lachen	Lachen, Schweiz
7	Inselspital – Universitätsspital Bern	Bern, Schweiz
8	Spital Limmattal	Schlieren, Schweiz
9	Medical Health Service Center	Wien, Österreich
10	Dr Pixley Ka Isaka Seme Memorial Hospital	Kwa Mashu, Südafrika
national		
1	Klinikum Frankfurt Höchst	Frankfurt
2	Flugfeldklinikum	Sindelfingen
3	Klinikum Siloah-Oststadt-Heidehaus	Hannover
4	Klinikum Wilhelmshaven	Wilhelmshaven
5	US-Klinikum Weilerbach	Weilerbach
6	Jüdisches Krankenhaus Berlin	Berlin
7	Klinik Hallerwiese Cnopfsche Kinderklinik	Nürnberg
8	Hohenloher Krankenhaus	Öhringen
9	Campus Zentralklinikum Lörrach	Lörrach
10	ALB FILS – Klinikum am Eichert	Göppingen

Tab.3-3: Auswahl von BIM-Referenzprojekten im Gesundheitswesen

Bei Analyse dieser Projekte ließ sich ein hohes Maß an Diversität bzgl. Projektart feststellen, einige Projekte mit individuellen Eigenschaften werden nun beispielsweise aufgegriffen, um einen Eindruck in die Vielfaltigkeit zu geben:

Das Klinikum Frankfurt Höchst gilt als ein Krankenhaus der Maximalversorgung, bei welchem eine modellbasierte 3D-Energiesimulation ermöglichte, das Klinikum im Passivhausstandard zu errichten. [10]

Beim Neubau des universitären Altersmedizin-Klinikums Felix Platter in Basel wird die BIM-Methodik über den gesamten Lebenszyklus mit Fokus auf den Betrieb angewendet. Durch den digitalen Zwilling können die technischen Anlagen in Echtzeit kontrolliert und gesteuert werden und bringt einen hohen Nutzen für das Facility Management mit sich. Durch das Vorhandensein aller relevanten Daten kann die Gebäude- und Medizintechnik, sowie die Gebäudereinigung effektiv betrieben werden. [9]

In Weilerbach soll ein neues Militär-Krankenhaus für die US-Amerikaner errichtet werden, welches über alle Leistungsphasen mit BIM geplant wird. Bei dem Projekt handelt es sich um das größte amerikanische Krankenhaus außerhalb der USA. Geplant wurde das Projekt nach deutschen Standards. [13]

Im Rahmen der Umbaumaßnahmen im Claraspital Basel wurde der auffällige Südtrakt abgerissen und als BIM-Projekt neu aufgebaut. Hierfür wurde das gesamte bestehende Spital durch Laserscans aufgenommen, damit die angrenzenden Gebäudeteile und Anlagen ins BIM-Modell einfließen. [12]

Die analysierten Referenzprojekte unterscheiden sich nicht nur in der Projektart, auch

in der Projektgröße lassen sich Unterschiede feststellen. Betrachtet wurden dabei 18 Projekte aus Tab. 3-3; bei zwei Projekten ließen sich keine Angaben zur Bettenanzahl feststellen. Die folgende Grafik veranschaulicht, dass die BIM-Anwendung sowohl bei kleinen als auch bei großen Krankenhäusern angewendet wird; die Größe wurde dabei an der Bettenzahl der Krankenhäuser gemessen (s. Abb. 3-1).

Bei Untersuchung des angewandten BIM-Ansatzes lassen sich bei neun der aufgelisteten Referenzprojekte Angaben feststellen. Davon wurde bei ca. 67 % angegeben, dass der Big-Open-BIM-Ansatz verwendet wird, welcher die Verwendung von unterschiedlichen Software-Programmen mit offenen Schnittstellen über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes meint. Bei etwa 11 % wurde die Verwendung des Little-Open-BIM-Ansatzes festgestellt, bei welchem im Vergleich zum Big-Open-BIM-Ansatz eine eingeschränkte Anwendung der BIM-Methodik in einer einzelnen Fachdisziplin verstanden wird. Dennoch wird dabei der gesamten Lebenszyklus betrachtet. Bei ca. 22 % ließ sich die Anwendung des Little-Closed-BIM feststellen. Dabei erfolgt der Datenaustausch über Softwareprodukte eines einzelnen Herstellers, während die spezifische Aufgabe über Softwareprodukte als Insellösung bearbeitet wird.

Durch das Ergebnis, dass die Anwendung des Big-Open-BIM-Ansatzes überwiegt, lässt sich darauf schließen, dass die Mehrwerte von BIM in der Praxis erkannt und genutzt werden. Demnach soll das As-Built-Modell über den gesamten Lebenszyklusprozess als transparentes Planungstool von allen Beteiligten gemeinsam über eine offene Schnittstelle genutzt werden.

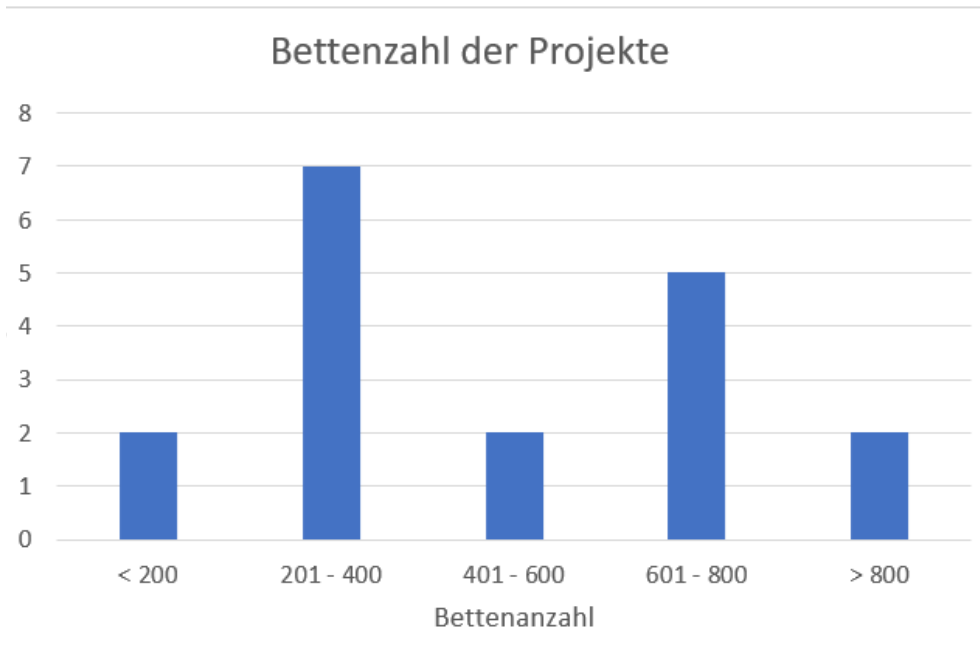


Abb. 3-1: Projektgröße der BIM-Referenzprojekte, gemessen an der Bettenanzahl

3.4 Fazit und Ausblick - Umsetzung mithilfe eines Leitfadens

Um eine optimale Balance zwischen den anfallenden Investitions- und Betriebskosten und einer leistungsfähigen, medizinischen Versorgung für Patienten zu erreichen, und gleichzeitig, dem beschriebenen signifikanten Wandel und der Vielzahl an Herausforderungen Rechnung zu tragen, erhält das Bauwerk und deren Planung von Krankenhäusern eine immer bedeutsamere Rolle.

Eine erfolgreiche Krankenhausplanung mit einem effizienten und zukunftsfähigen Betrieb ist nur auf Basis einer stringenten und konsequent angewandten Planungssystematik über den gesamten Lebenszyklus möglich. Hierfür ist die Anwendung der BIM-Methode unumgänglich und bietet viele Vorteile gegenüber der konventionellen Planung, insbesondere bei komplexen Bauwerken, wie dem Krankenhausbau, um allen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Interviewergebnisse zeigen auf, dass diese Mehrwerte auch bei den praktischen Anwendern, wie Krankenhausbetreibern und Planungsbüros, die im Krankenhausbau tätig sind, erkannt werden. Insbesondere Schwierigkeiten, die speziell den Krankenhausbau betreffen, können dadurch behoben bzw. erleichtert werden. Als Beispiel ist hier die fehlende oder missverständliche Kommunikation mit dem Nutzer zu nennen.

Da alle Projektbeteiligten modellbasiert in einer gemeinsamen Datenumgebung arbeiten, stellt diese Methodik eine optimale Möglichkeit dar, die Kommunikation zwischen den vielen Akteuren im Krankenhausbau transparent zu gestalten und zu verbessern, ohne dass Informationen verloren gehen. Möglicherweise sind Kommunikationshürden auch aufgrund von fehlendem fachlichen Wissen bei z. B. Vertretern der Ärzte oder Pflegekräfte entstanden. Ein veranschaulichendes digitales Bauwerksmodell bietet jedoch Laien die Möglichkeit, sich die bauliche Umsetzung real besser vorstellen zu können. Konflikte mit den Nutzern können somit im Vergleich zur digitalen Planungsmethode durch die digitale BIM-Methodik reduziert werden.

Zudem können Schnittstellen durch das Koordinationsmodell, bestehend aus den einzelnen Fachmodellen besser überwacht werden, wodurch Schnittstellenfehler direkt erkannt und behoben werden können.

Dennoch bringt die BIM-Methode auch ein gewisses Maß an Herausforderungen mit sich. In den durchgeführten Interviews wurden überwiegend fehlende Richtlinien und Vorgaben zur BIM-Anwendung und fehlende Angaben zur Dokumentationstiefe als Herausforderung genannt. Um den Einsatz im Krankenhausbau zu verbreiten und zu fördern und um die Vorteile von BIM dabei so weit wie möglich auszuschöpfen, sollten demnach klare Handlungsempfehlungen zur BIM-Anwendung vorgegeben sein.

Demnach wird ein anwendungsorientierter Leitfaden für die stufenartige Implementierung von BIM in Krankenhausbauprojekten über den gesamten Lebenszyklus auf nationaler Ebene gefordert. Dieser soll eine adäquate BIM-Strategie mit potenziellen Anwendungsfällen auf Basis der vielschichtigen Anforderungen und Rahmenbedingungen im Gesundheitsbau beschreiben.

Danksagung

Dieses Forschungsvorhaben wird aktuell durch das KlinikBIM-Projekt umgesetzt, welches durch das Innovationsprogramm Zukunft Bau des Bundesministeriums des Inneren, für Bau und Heimat gefördert wird.

4 Literaturverzeichnis

- [1] A. Hahn, Warum vielen Kliniken Geld fehlt, tagesschau.de, 2010, <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/krankenhaeuser-finanzierung-105.html> (aufgerufen am 27.03.2022)
- [2] Bundesministerium für Gesundheit, Krankenhauszukunftsgesetz für die Digitalisierung von Krankenhäusern, 2020, <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/krankenhauszukunftsgesetz.html> (aufgerufen am 27.03.2022)
- [3] Bundeszentrale für politische Bildung, Bevölkerungsentwicklung, 2020 <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/soziale-situation-in-deutschland/61532/bevoelkerungsentwicklung/> (aufgerufen am 13.04.2022)
- [4] BDO AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Deutsches Krankenhausinstitut, Investitionsfähigkeit der deutschen Krankenhäuser, Köln, 2015
- [5] C. Roth et al., Praxis: Krankenhausbau – Forschungsarbeit, Abschlussbericht, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2016
- [6] C. Roth et al., Zukunft. Klinik. Bau – Strategische Planung von Krankenhäusern, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2015.
- [7] Deutsche Krankenhausgesellschaft, Dezernat II – Krankenhausfinanzierung und -planung, Bestandsaufnahme zur Krankenhausplanung und Investitionsfinanzierung in den Bundesländern, Berlin, 2018
- [8] Deutscher Ärzteverlag GmbH, Investitionskostenfinanzierung der Kliniken deutlich zurückgegangen, <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/95540/Investitionskostenfinanzierung-der-Kliniken-deutlich-zurueckgegangen> (aufgerufen am 28.03.2022)
- [9] Heinz, M.: Neubau Felix Platter-Spital in Basel, 11. BIM-Anwendertag buildingSMART, Königstein im Taunus, 2014
- [10] Klinikum Frankfurt Höchst: Neubau Klinikum Frankfurt Höchst, Baudokumentation <https://www.neubau-klinikum-frankfurt.de/neubau-klinikum-frankfurt-hoechst-aktuell/> (aufgerufen am 20.02.2022)
- [11] Schneider, Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen, 23. Auflage 2018, Bundesanzeiger Verlag, Bochum
- [12] Scherler AG, Umbau St. Claraspital Basel, 2020 <https://www.scherler.swiss/aktuell/detail/news/umbau-st-claraspital-basel/> (aufgerufen am 20.02.2022)
- [13] SWR, Fast 860 Millionen Euro: Baubeginn für US-Hospital Weilerbach im Oktober, 2022, <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/kaiserslautern/weilerbach-neues-us-krankenhaus-soll-ab-oktober-gebaut-werden-100.html> (aufgerufen am 22.02.2022)
- [14] Technische Krankenkasse, Mit dem KHZG gegen den Investitionsstau, 2021, <https://www.tk.de/presse/themen/medizinische-versorgung/krankenhausversorgung/khgz-gegen-investitionsstau-2115800?tkcm=aaus> (aufgerufen am 26.03.2022)

Ein ganzheitlicher Systemansatz zur(teil-)automatisierten Generierung von digitalen Bestandsmodellen der Verkehrsinfrastruktur

*Jan-Iwo Jäkel*¹

¹ Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen, RWTH Aachen University, jaekel@rwth-aachen.de

Kurzfassung

Für die rund 65.000 Brückenbauwerke der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland existiert ein erhöhter Bedarf an Instandhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen. Diese Maßnahmen benötigen inhaltsreiche und qualitativ hochwertige Bestandsdokumentationen, die das reale Abbild exakt widerspiegeln. Bisweilen verlaufen die Instandhaltungsmaßnahmen auf Basis von oftmals historisch, unvollständig sowie lückenhaften 2D-Bestandsunterlagen zum Bauwerk ab. Zudem ist die Erstellung von digitalen Bauwerksmodellen noch mit einem hohen Zeit- und Ressourcenaufwand verbunden. Damit in Zukunft das Erhaltungsmanagement auf Basis digitaler Modelle möglich ist, bedarf es der Automatisierung des Erstellungsprozesses von semantisch veredelten, digitalen Modellen bestehender Infrastrukturbauwerke. Dieser Systemansatz zur (teil-)automatisierten Generierung von digitalen Bestandsmodellen wird im Rahmen dieses Beitrags vorgestellt. Die Grundlage dafür schafft eine Multi-Daten-Fusion unter Nutzung von Künstlicher Intelligenz aus aktuellen Messdaten (Photogrammetrie und Punktwolken) mit der vorhandenen Bauwerksdokumentation.

Schlagwörter: Digitale Modelle, Verkehrsinfrastruktur, Künstliche Intelligenz, Laserscanning

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	150
2	Methodik.....	151
3	Stand der Technik	151
4	Vorstellung des ganzheitlichen Systemansatzes	153
4.1	Allgemeines zum ganzheitlichen Systemansatz.....	153
4.2	Beschreibung des ganzheitlichen Systemansatzes.....	154
5	Diskussion.....	159
6	Ausblick.....	160
7	Literatur	161

1 Einleitung

Brückenbauwerke haben eine besondere Bedeutung für die Wirtschaft und Gesellschaft der Bundesrepublik Deutschland und Europa. [1] Gleichzeitig ist die Bereitstellung von resilienter Infrastruktur eine herausfordernde Aufgabe mit mehrdimensionaler Komplexität. [2] [3] Insbesondere aufgrund der langen Betriebsphase von Brücken ist die Instandhaltung von Brückenbauwerken von besonderer Bedeutung. [4]

Im deutschen Verkehrsinfrastrukturnetz existieren insgesamt rund 40.000 Straßenbau- [5] und etwa 25.000 Eisenbahnbrücken. [6] Um den Zustand der Brückenbauwerke in der Betriebsphase zu prüfen und überwachen laufen in Deutschland die Instandhaltungsprozesse standardisiert nach der DIN 1076 ab. [7] Dabei werden die Brücken in festen zeitlichen Zyklen manuell durch den Einsatz von materiellen sowie personellen Ressourcen geprüft und deren Zustand bewertet. Dieses Vorgehen im Instandhaltungsmanagement ist bisweilen eher reaktiv und präventiv. [8, S.15 - 19]

Durch den Einsatz von digitalen Methoden und modernen Technologien wird in Zukunft eine prädiktive und digitale Instandhaltung angestrebt, um so mögliche Schäden, Verschleiß- und Ermüdungserscheinungen vor dem Eintreten zu identifizieren und Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Auf diese Weise kann die Lebensdauer von Brücken langfristig erhöht werden. [1] Für die prädiktive und digitale Instandhaltung dienen realitätsgetreue, objektorientierte Bauwerksmodelle als Grundlage. Bislang basiert die Generierung der digitalen Bestandsbauwerke auf Basis der Bestandsdokumentation sowie vorhandener 2D-Pläne und ist ein sehr zeit- und ressourcenintensiver Prozess. Die Unterlagen zum Bauwerk sind oftmals historisch, unvollständig sowie lückenhaft und liegen in heterogenen sowie unstrukturierten Strukturen vor. [9] Damit in Zukunft die prädiktive Instandhaltung auf Basis eines qualitativen, dreidimensionalen und digitalen Bauwerksmodell für Bestandsbrücken der Verkehrsinfrastruktur erfolgen kann, bedarf es der Optimierung des Vorgehens im Erstellungsprozess durch Steigerung des Automatisierungsgrads. Dies erfolgt durch die Verwendung und gleichzeitigen Verknüpfung von digitalen Methoden mit disruptiven Technologien, wie beispielsweise Laserscanning, BIM, Künstliche Intelligenz, Augmented Reality.

In diesem Beitrag werden die oben genannten Aspekte aufgegriffen und ein ganzheitlicher Systemansatz zur (teil-)automatisierten Generierung von digitalen, objektorientierten Bestandsmodellen der Verkehrsinfrastruktur vorgestellt. Durch die Verwendung dieses Ansatzes kann die Erstellung von digitalen Bauwerksmodellen mit geometrischen und semantischen Daten automatisiert ablaufen und so ein bedarfsgerechtes Abbild des realen Bauwerks generiert werden. Dadurch wird ein wichtiger Beitrag zur Schaffung einer qualitativen Basis für das digitale Erhaltungsmanagements von Brückenbauwerken geschaffen und langfristig die Lebensdauer der Brückenbauwerke erhöht.

2 Methodik

Der wissenschaftliche Artikel besteht aus drei aufeinanderfolgenden Schwerpunkten – (i) Stand der Technik, (ii) Vorstellung des Systemansatzes und (iii) der Diskussion. Im ersten Schritt wird der allgemeine Stand der Technik durch eine Literaturanalyse ermittelt und die Forschungslücke dargestellt. Im nächsten Schritt wird der Systemansatz des (teil-)automatisierten Vorgehens zur Generierung von digitalen, objektorientierten Bestandsmodellen der Verkehrsinfrastruktur erläutert und in einer Systemarchitektur sowie einem BPMN-Prozessdiagramm visualisiert. Die Generierung der digitalen Bestandsmodelle erfolgt dabei mittels einer Multi-Daten-Fusion basierend auf multimodalen Datenströmen aus Laserscans (LIDAR, Photogrammetrie) und vorhandener Bestandsdaten. Dabei untergliedert sich der Ansatz in vier individuelle Teilbereiche – (I) Grundlagendefinition, (II) Datenakquise, (III) Modellgenerierung, (IV) Semantisierung und Plattformintegration (vgl. Abb. 2-1). Anschließend erfolgt eine Diskussion mit Betrachtung der Chancen und Herausforderungen. Am Ende des Artikels wird eine kritische Würdigung der Ergebnisse vorgenommen und ein Ausblick auf zukünftige Forschungsschritte gegeben.



Abb. 2-1: Komponenten des Systemansatzes

3 Stand der Technik

Seit dem Jahre 2020 ist die Verwendung der Methode des Building Information Modeling (BIM) für Projekte im Bereich der Infrastruktur verpflichtend. Dieses Ziel geht aus dem Stufenplan „Digitales Planen und Bauen“ des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) hervor. [20] Die Wichtigkeit der BIM-Methode für die Bauindustrie wurde zudem nochmals durch die Veröffentlichung des Masterplan BIM für Bundesbauten [10] sowie den Masterplan BIM Bundesfernstraßen [11] bestärkt.

Seit einigen Jahren wird die BIM-Methode immer häufiger in Pilotprojekten von Brücken und Infrastrukturneubauten angewendet. Die digitalen Modelle werden über den kompletten Lebenszyklus eines Bauwerks verwendet. Während die Modellierung der digitalen, n-dimensionalen Bauwerksmodelle bei Neubauprojekten kein Problem darstellt und eine Vielzahl von verschiedenen Leitfäden zur Planung und Nutzung von BIM-Modellen in der Infrastruktur existieren, ist die Erstellung der digitalen Modelle für Brücken im Bestand weitaus komplexer. [12] [13] Nach Angaben der Bundesanstalt für Straßenbau (BASt) existieren nahezu keine digitalen Abbilder für die rund 40.000

Straßenbaubrücken im Bundesfernstraßennetz keine. [5] Ein Grund dafür ist die überwiegend analoge und inhomogene Basis der vorhandenen Informationen. Größtenteils liegen die Bestandsdokumentationen lediglich in Papierform vor oder die Datensätze werden in unstrukturierten und inhomogenen Datenbanken in stark fragmentierter Form verwaltet. [5]

Im Zuge der digitalen Transformation der Bauwirtschaft wurden in den letzten Jahren neue Methoden zur Erstellung von digitalen Modellen von Bestandsbauwerken entwickelt. Hierfür werden als Grundlage Verfahren des Laserscannings verwendet. Aus den geometrischen Messdaten dieser Verfahren werden anschließend die digitalen Bestandsbrückenmodelle erstellt. Dieser Vorgang verläuft jedoch bislang sehr manuell durch Einsatz vieler Ressourcen ab. [14] [15] Ansätze für automatisierte Modellierungsverfahren wurden bereits für den Hochbau entwickelt. Die Erstellung von digitalen Repräsentationen im Hochbau ist aufgrund der standardisierten und sich oft wiederholenden Geometrien mit dem aktuellen Stand der Technik problemlos möglich, wie beispielsweise in den Ansätzen [16], [17], [18], [19] und [20] gezeigt wird. Im Kontrast dazu laufen die Prozesse der Modellerstellung im Bereich der Brücken- und Ingenieurbauwerke noch weitestgehend auf manueller Basis ab. Eine (teil-)automatisierte Erstellung von kompletten digitalen Brückenbauwerksmodellen ist zum jetzigen Stand der Technik noch nicht möglich, lediglich für einzelne Bauteilkomponenten. Ein essentieller Grund dafür ist die hohe technische und geometrische Komplexität sowie die große architektonische Individualität der einzelnen Brückenbauwerke. Aufgrund dieser vorhandenen Schwierigkeiten sind für die Erstellung von BIM-Modellen von Bestandsbrücken im Bereich des Infrastrukturbaus bis dato viele personal- und zeitintensive Prozesse notwendig. [5] [13] [21] [22]

Im Forschungsbereich der (teil-)automatisierten Generierung von digitalen Modellen aus Laserscandaten zur Rekonstruktion von Bestandsbrückenbauwerken unter Nutzung von maschinellen Lernalgorithmen wurden in den letzten Jahren erste Erkenntnisse publiziert und unterschiedliche Methoden entwickelt. In Wang et al. wird beispielsweise eine Methode zur automatischen Extraktion von Bauwerksgeometrien aus unorganisierten Punktwolken vorgestellt. Das Vorgehen reduziert die gemessenen Rohdaten. Folgend werden die reduzierten Daten einer Randerkennung unterzogen, sodass anschließend eine Gebäudekomponentenkategorisierung für einzelne Objekte als flächenhafte Polygone stattfinden kann. [23] In Barazzetti et. al. wird die parametrische Modellierung einer komplexen mittelalterlichen Brücke für ein detailliertes BIM auf Grundlage von Laserscans und Bildern dargestellt. Dafür werden NURBS Kurven und Flächen angewendet, mit welchen sich auch unregelmäßige Formen modellieren lassen. [24] Zudem untersuchte Lu et. al. ein Verfahren zur automatisierten Detektion von Strukturelementen in einer Punktwolke einer bewehrten Bestandsbrücke aus Beton unter Verwendung von Künstlicher Intelligenz. [21] Goebels nutzte für die automatisierte Generierung einer digitalen 3D-Brückenrekonstruktion eine Kombination aus Laserscandaten und Katasterdaten, die durch intelligente Algorithmen fusioniert und ein digitales Model abgeleitet wurde. [25] Des Weiteren entwickelte Mafipour et. al. einen Ansatz zur Ableitung von digitalen Bestandsbrückenmodellen aus Punktwolken unter

der Verwendung von parametrischen Modellen und metaheuristischen Algorithmen. [26] Zhang et. al., Ma et. al. und Qin et. al. entwickelten darüber hinaus weitere KI-basierte Methoden zur teilautomatisierten Erkennung und der anschließenden Ableitung von digitalen Bauteilkomponenten eines Brückenbauwerks auf Basis von vorhandenen Punktwolkendaten. [22] [27] [28]

Die obenstehenden Ansätze fokussierten alle die Erstellung von geometrischen 3D-Modellen aus Laserscandaten. Damit am Ende ein veredeltes Bestandsmodell mit einer bedarfsgerechten Attribuierung vorliegt, ist eine zusätzliche Anreicherung von semantischen Informationen aus Bestandsdokumentationen notwendig. Es bedarf jedoch zuvor der automatisierten Analyse, Interpretation und Extraktion von relevanten Daten in den vorhandenen Bestandsdokumenten. Erste Untersuchungen der (teil-)automatisierten Detektion und Extraktion von wichtigen Informationen wurden bereits in einigen wissenschaftlichen Publikationen vorgestellt. So untersuchte Adam et. al. bereits vor mehr als 20 Jahre erste Ansätze zur Extraktion von relevanten Informationen aus technischen Zeichnungen. [29] In Elyan et. al. wird das Vorgehen für die Klassifikation von Symbolen in ingenieurstechnischen Zeichnungen unter Verwendung von künstlich neuronalen Netzen untersucht. [30] Rezvanifar et. al. betrachteten in ihrer Untersuchung ebenfalls Methoden des Deep Learning zur Erkennung von Symbolen in architektonischen Plänen. [31] Eine weitere Methode wird in Vilgertshofer et. al. vorgestellt. In diesem Forschungsansatz werden neuronale Netze zur Erkennung von Symbolen in technischen Zeichnungen der Infrastruktur und deren Ortung in Videosequenzen in der realen Welt entlang einer Eisenbahntrasse erforscht. [32]

Zusammenfassend betrachtet existieren bereits sowohl Ansätze zur (teil-)automatisierten Erkennung und Rekonstruktion von einzelnen Brückenbauteilen aus Laserscandaten, als auch Verfahren zur Extraktion von Information aus Bestandsdokumentationen. Ein ganzheitlicher Ansatz der kompletten Prozesskette zur (teil-)automatisierte Generierung und Semantisierung von digitalen Modellen von komplexen Bestandsbauwerken der Verkehrsinfrastruktur aus geometrischen Laserscandaten und vorhandener Bestandsdokumentation wurde bislang noch nicht untersucht. Diese Forschungslücke wird im Rahmen dieses wissenschaftlichen Artikels geschlossen. Das Ergebnis des Fachartikels ist die Darstellung eines Systemansatzes zur (teil-)automatisierten Erstellung von digitalen Bestandsmodellen der Verkehrsinfrastruktur. Dabei kombiniert das Vorgehen entlang der Prozesskette die Ansätze der geometrischen Modellerstellung und dessen Semantisierung mit Bestandsdaten unter Verwendung von Algorithmen der Künstlichen Intelligenz verknüpft mit einer zentralen Plattform im Kontext einer Single-Source-of-Truth.

4 Vorstellung des ganzheitlichen Systemansatzes

4.1 Allgemeines zum ganzheitlichen Systemansatz

Der Systemansatz fokussiert ein ganzheitliches Vorgehen zur (teil-)automatisierten Generierung von digitalen, objektorientierten Modellen von Bestandsbauwerken der Ver-

kehrinfrastruktur (s. Abb. 4-1). Die Grundlage für dieses Vorgehen sind dabei multimodale Datenströme bestehend aus aktuellen Laserscanmessdaten (LiDAR-Aufnahmen und Photogrammetrie) in Kombination mit der vorhandenen Bestandsdokumentation des Bauwerks. Damit aus diesen heterogenen Datensätzen am Ende ein veredeltes, semantisch angereichertes und digitales Bauwerksmodell entsteht und dieses nachstehend für die digitale Instandhaltung in der Betriebsphase eingesetzt werden kann, erfolgt der kombinierte Einsatz von digitalen Methoden (z.B. Building Information Modelling) und moderner Technologien (z.B. Künstliche Intelligenz (KI), Augmented Reality (AR)) entlang der Prozesskette. Am Ende des Vorgehens entsteht ein qualitatives und gleichzeitig bedarfsgerechtes digitales Ebenbild des Bauwerks für den Einsatz entlang des kompletten Lebenszyklus.

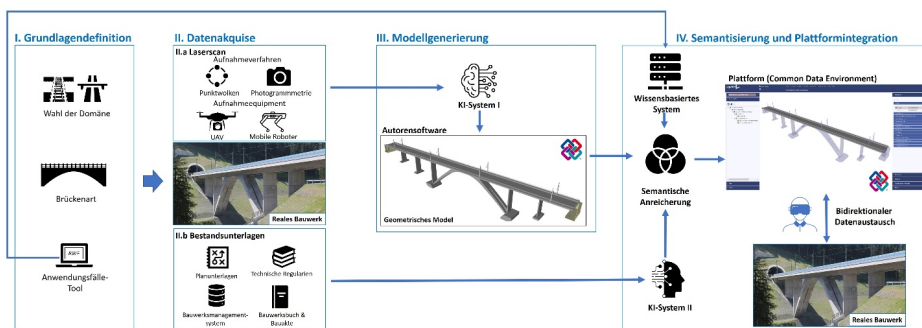


Abb.4-1: Architektur des Systemansatzes

4.2 Beschreibung des ganzheitlichen Systemansatzes

4.2.1 Generische Ablaufbeschreibung

Grundlegend baut der Systemansatz (s. Abb. 4-1) zur Erstellung des digitalen Bauwerksmodells einer Bestandsbrücke auf vier Hauptprozessen auf, die sich in weitere Subprozessen untergliedern (s. Abb. 4-2). Zu Beginn erfolgt die Definition der Grundlagen für das Vorgehen. In diesem Schritt wird die betrachtete Domäne (Straßen- oder Eisenbahnbau), der Brückentyp sowie der zu betrachtende Anwendungsfall der digitalen Instandhaltung definiert. Im nächsten Hauptprozess werden die Daten der multimodalen Datenströme für die spätere Multi-Daten-Fusion in zwei parallelen Subprozessen akquiriert. Dabei wird im ersten Subprozess der Datenakquise die vorhandene Bestandsdokumentation (z.B. Pläne, technische Dokumente oder Informationen aus Bauwerksmanagementsystemen, etc.) vom Bauwerksbetreiber beschafft. Im zweiten Subprozess wird die Befliegung des Bauwerks im Zusammenhang mit der Festlegung der eingesetzten Laserscanverfahren sowie das verwendete Equipment geplant, vorbereitet (Pre-Processing) und durchgeführt. Nach der erfolgreichen Datenakquise werden beide Datensätze (Bestandsdokumentation und Laserscandaten) hinsichtlich ihrer Qualität und Ver-

lässigkeit bewertet. Im nächsten Schritt erfolgt die Generierung des geometrischen Abbildes als digitales Bauwerksmodells. Dafür werden die geometrischen Messdaten analysiert sowie unter Verwendung von kombinierten Methoden der künstlichen Intelligenz interpretiert und in eine geometrische Repräsentation des realen Bauwerks transformiert. Nach der erfolgreichen Transformation bedarf es im Folgenden der Anreicherung des geometrischen Modells mit relevanten semantischen Informationen. Die Basis der Semantisierung sind relevante Informationen aus der Bestandsdokumentation des Bauwerks. Die Bestandsunterlagen werden in einem vorgeschalteten Prozess im ersten Schritt auf deren Qualität validiert und anschließend mit Methoden des maschinellen Lernens analysiert, interpretiert und relevante Daten extrahiert. Danach erfolgt die semantische Anreicherung des Geometriemodells auf Basis der durch die KI-basierten extrahierten Bestandsdaten in Kombination mit aufbereitetem Expertenwissen aus einem

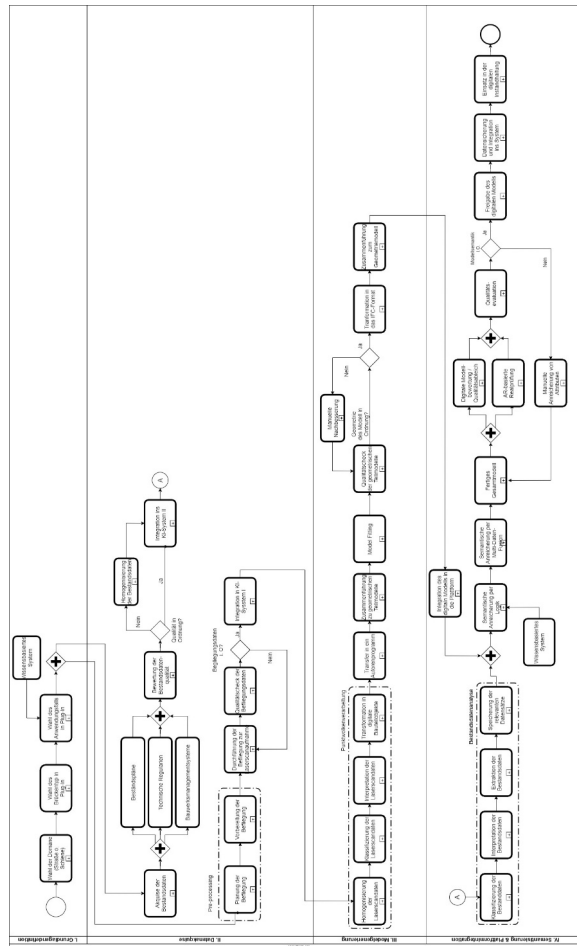


Abb. 4-2: BPMN-Prozessmodell des Systemsatzes

wissensbasierten System mittels einer Multi-Daten-Fusion. Das Ergebnis der Fusion ist ein digitales Brückenbauwerksmodell als digitale Repräsentation des Bestandsbrückenbauwerks im offenen, herstellernerutralen Datenaustauschformat Industry Foundation Classes (IFC). Damit das digitale Modell auch für operative Prozesse eingesetzt werden kann und eine Interoperabilität gewährleistet, wird das digitale Modell infolgedessen in eine Plattform (Common Data Environment) integriert und so allen Projektbeteiligten zugänglich gemacht. Zudem existiert für einen bidirektionalen Datenaustausch eine Schnittstelle zwischen der Plattform und der AR-Technologie, sodass ein Datenfluss aus der Realität in das digitale Bestandsmodell und gleichzeitig auch zurück vollzogen werden kann. Die einzelnen Komponenten des Systemansatzes werden in den folgenden Unterkapiteln nochmals spezifiziert beschrieben und prozessuale sowie technische Besonderheiten erläutert.

4.2.2 Grundlagendefinition

Im ersten Teilbereich des Systemansatzes werden die Grundlagen für den nachstehenden Prozess der Modellgenerierung definiert. Dabei werden vom Infrastrukturbetreiber in einem digitalen Tool die drei Parameter - Domäne (Straße oder Schiene), der Bauwerkstyp und der zu betrachtende Anwendungsfall für die digitalen Instandhaltung - bestimmt. Das Tool ist dabei mit einem wissensbasierten System verbunden. Dieses besteht dabei aus zwei Komponenten. Die erste Komponente ist ein Regelsystem mit integrierten algorithmischen Logiken über den grundlegenden Aufbau der Brückenart und vorhandene Abhängigkeiten einzelner Bauteile. Die zweite Komponente ist eine SQL-Datenbank mit den anwendungsfallspezifischen Informationsbedarfen auf Bauteil-Ebene. Zudem unterstützt das wissensbasierte System den nachgelagerten Prozessschritt der semantischen Anreicherung durch die Verwendung der vordefinierten Informationsbedarfe je Anwendungsfall, der entwickelten Logiken und dem aufbereiteten Expertenwissen.

4.2.3 Datenakquise

Nach der Bestimmung der Domäne, der Brückenart und des Anwendungsfalls erfolgt in der nächsten Phase die Datenakquise. Dabei untergliedert sich die Phase in zwei Subprozesse. Zum einen erfolgt die Aufnahme von geometrischen Messdaten des realen Bauwerks durch Laserscanverfahren (LiDAR-Aufnahmen und Photogrammetrie), zum anderen wird in einem parallel ablaufendem Subprozess die Bestandsdokumentation beschafft und gesichtet. Im Subprozess der Aufnahme der geometrischen Messdaten des realen Bestandsbauwerks werden die Daten durch die Kombination von unterschiedlichen Laserscanverfahren unter Verwendung von Dronen, mobilen Robotersystemen und speziellen Kamerasystemen aufgenommen. Neben der Definition der optimalen Flugroute zur Erfassung aller relevanten Bauteile des Brückenbauwerks ist zudem die Beachtung aller rechtlichen Rahmenbedingungen (z.B. Einholung von Aufstiegsgenehmigungen) sowie der vorherrschenden Witterungsverhältnisse wichtig. Nach der Fertigstellung des Pre-Processing erfolgt die Durchführung der Befliegung und die Aufnahme der geometrischen Messdaten.

Nach erfolgreicher Akquise der Bestandsdokumentationen sowie der Aufnahme der geometrischen Messdaten werden beide Datensätze individuell auf deren Qualität und Verlässlichkeit geprüft. Sofern die Datenqualität eingehalten wird, erfolgt die Integration der Datensätze in die jeweiligen KI-Systeme zur Weiterverarbeitung. Wird die Datenqualität nicht eingehalten, bedarf es einer Aufbereitung der Bestandsdatensätze und einer erneuten Befliegung des Bauwerks für die geometrischen Messdaten

4.2.4 Modellgenerierung

Im nächsten Schritt, der Modellgenerierung, wird auf Basis der zuvor aufgenommen geometrischen Messdaten (Punktwolke und Photogrammetrie) das objektreferenzierte, digitale Bauwerksmodell (teil-)automatisiert generiert. Für die Generierung wird dabei ein intelligentes System (KI-System I) auf Basis eines künstlich neuronalen Netzes (KNN) eingesetzt. Zudem wird das KNN für die Klassifizierung der Punktwolkensegmente in Bauteilkategorien und die darauffolgende Transformation in ein digitales Modell durch eine digitale Bauteilbibliothek mit standardisierten Objekten von Brückenquerschnitten unterstützt. Im ersten Schritt, auf dem Weg von den geometrischen Messdaten hin zu einem digitalen „As-Built“-Modell, wird die Punktwolke durch das Entfernen von störenden und nicht relevanten Bereichen der Brücke bereinigt. Anschließend erfolgt die Segmentierung der Punktwolke und deren Klassifizierung durch eine Detektion von Bauteilobjekten unter Verwendung des KI-Systems. Die Funktionsfähigkeit des KI-Systems I wird in einer vorgeschalteten Trainingsphase des KNN mit einem spezifischen Trainingsdatensatz, bestehend aus Punktwolkendaten, vorklassifizierten photogrammetrischen Aufnahmen und synthetisch erzeugten Punktwolken, entwickelt. Nach der Segmentierung und anschließenden Klassifizierung der Punktwolke in einzelne Bauteilkomponenten des Brückenbauwerks erfolgt die Transformation der Punktwolkensegmente in digitale Abbilder. Dabei werden die einzelnen Punktwolkensegmente mit den standardisierten digitalen Bauteilobjekten der Bauteilbibliothek verglichen und bei einer Übereinstimmung transformiert. Für die Optimierung der digitalen Bauteilobjekte in Bezug auf die realen Dimensionen erfolgt nachstehend ein Modellfitting. In diesem Prozess werden die digitalen Bauteilobjekte mit dem Punktwolkensegment übereinander projiziert und einzelne Bereiche im digitalen Modell angepasst, sodass die realen Maße des Bauteils mit den Maßen der digitalen Bauteilkomponenten übereinstimmen. Die einzelnen Bauteilobjekte werden dann in eine Autorensoftware überführt und in ein digitales Geometriemodell bestehenden aus einzelnen Teilmodellen (Oberbau, Unterbau, Höhenmodell, etc.) zusammengeführt. Zusätzlich wird das Geometriemodell für die Weiterverwendung in der digitalen Instandhaltung in das offene IFC-Format transformiert. Das Ergebnis der Systemphase ist ein digitales Geometriemodell als Repräsentation des realen Bauwerks.

4.2.5 Semantisierung und Plattformintegration

Nachdem das Geometriemodell aus den Laserscandaten generiert wurde, bedarf es der Integration von weiteren semantischen Informationen in das Modell. Im Rahmen der Semantisierung wird das Geometriemodell im ersten Teilschritt mit den grundlegenden,

auf den jeweiligen Anwendungsfall spezifizierten Informationen unter Nutzung des wissensbasierten Systems angereichert. Diese Informationen stellen die Mindestattribuierung für das digitale Bauwerksmodell dar. Infolgedessen erfolgt in einem weiteren Teilschritt die weitere semantische Veredelung durch die Integration von weiterführenden, relevanten Informationen aus der Bestandsdokumentation. Diese Daten des jeweiligen Bauwerks werden unter Verwendung von maschinellen Lernalgorithmen (KI-System II) aus dem Bereich der Text- und Bilderkennung auf deren Qualität bewertet, klassifiziert und extrahiert. Nach der erfolgreichen Extraktion erfolgt die spezifizierte Attribuierung der einzelnen Bauteilkomponenten. Vorgeschaltet zu diesem Subprozess bedarf es der Entwicklung des KI Systems II durch das Training des maschinellen Algorithmus im überwachten Lernstils und entsprechenden Trainingsdatensätzen, bestehend aus weiteren Bestandsdokumentationen (z.B. Pläne, technische Berechnungen, Prüfprotokolle, Datensätze aus Bauwerksmanagementsystemen, etc.) von Bauwerken eines identischen Typs. Am Ende der Systemphase ist ein vollwertiges und semantisch veredeltes digitales Bauwerksmodell vorzufinden. In diesem Modell befinden sich alle für den betrachtenden Anwendungsfall der digitalen Instandhaltung relevanten geometrischen, wie auch semantischen Informationen.

Für den vollumfänglichen Einsatz des digitalen Modells im digitalen Erhaltungsmanagements bedarf es der Zugänglichkeit und Verfügbarkeit der Daten für viele unterschiedliche Akteure. Dafür wird das digitale Bauwerksmodell im IFC-Format in eine Plattform (Common Data Environment) transferiert und unter Berücksichtigung eines für die digitale Instandhaltung spezifizierten Rollen- und Nutzungskonzept den Projektbeteiligten zugänglich gemacht. Das Rollen- und Nutzungskonzept orientiert sich dabei an der DIN19650 in Kombination mit der DIN1076. Nach der Modellintegration wird anhand eines regelbasierten Prüfalgorithmus die Qualität sowie Zuverlässigkeit des Modells und der integrierten Daten anhand eines quantifizierten Qualitätsmaß bewertet. Eine weitere Komponente für den qualitativen Einsatz des generierten Modells im Erhaltungsmanagement während der Betriebsphase des Bauwerks ist eine Schnittstelle der Plattform mit einem AR-System. So entsteht ein bidirektionaler Datenaustausch zwischen dem realen Bauwerk und dessen digitalen Repräsentation. Dieser bidirektionale Datenfluss wird vor allem nach der Generierung des Modells und dem Einsatz im operativen Erhaltungsmanagement signifikant. Beispielsweise können vor Ort identifizierte Zustandsveränderungen am Bauwerk direkt in das digitale Modell integriert werden. Dadurch betrachtet das System sowohl den Aspekt der (teil-)automatisierten Erstellung des digitalen Bauwerksmodells, als auch dessen nachträgliche Verwendung in realen, multivariablen Szenarien des Erhaltungsmanagements. Dabei werden die Daten aus dem digitalen Modell dem Instandhalter über eine AR-Brille vor Ort am realen Bauwerk verfügbar gemacht. Gleichzeitig ist es möglich bei der Identifizierung von Änderung an den Bauwerken diese über das AR-System direkt in das digitale Bauwerksmodell zu integrieren. Dies gewährleistet effektive und effiziente Prozesse im Erhaltungsmanagement.

5 Diskussion

Im Rahmen des wissenschaftlichen Artikels wurde ein ganzheitlicher Systemansatz zur (teil-)automatisierten Generierung von digitalen, objektorientierten Bestandsmodellen der Verkehrsinfrastruktur vorgestellt. Der Systemansatz leistet einen Beitrag zur (Teil-)Automatisierung der bisher manuell ablaufenden Prozesskette zur Entwicklung von objektorientierten und semantisch veredelten digitalen Modellen von Bestandsbrücken. Dabei betrachtet der Ansatz nicht nur einzelne Prozessbausteine, sondern die gesamte Wertschöpfungskette samt Schnittstellen von der Datenakquisition, über deren Verarbeitung zu einem digitalen Bauwerksmodell, bis hin zum Einsatz des Modells im digitalen Erhaltungsmanagement. Des Weiteren liefert der Systemansatz durch die strukturierte semantische Attribuierung des digitalen Modells und die Verknüpfung des Modells mit weiteren Datenquellen eine qualitative Grundlage für das digitale Erhaltungsmanagement von Brückenbauwerken. Durch die Integration des veredelten digitalen Modells in eine Common Data Environment dient das Modell als Single-Source-of-Truth für das Erhaltungsmanagement und gewährleistet eine transparente sowie konsistente Haltung aller relevanten Daten und stärkt zusätzlich die Kollaboration aller Projektbeteiligten. Zudem kann durch die Schnittstelle der Plattform zu einem AR-System eine effektive und effiziente Nutzung des digitalen Modells aufgrund eines bidirektionalen Datenaustausch sichergestellt werden. Die Verwendung offener Austauschformate erhöht zudem die Interoperabilität in der Instandhaltung, beseitigt bestehende Schnittstellenprobleme und nutzt vorhandene Standards. Ferner unterstützt der Systemansatz langfristig die Verlängerung der Nutzungsdauer vorhandener Brückenbauwerke und die Steigerung der Resilienz des nationalen Infrastruktursystems.

Bisher betrachtet der vorgestellte Systemansatz ein ganzheitliches Vorgehen aus prozessualer und informationstechnischer Perspektive auf einer sehr generischen Ebene und weist dadurch einige Limitationen auf. In weiteren Untersuchungsschritten ist die Weiterentwicklung, Prototypisierung und Validierung notwendig. Darüber hinaus bedarf es der weiteren Spezifikation der vorhandenen Schnittstellen zwischen den einzelnen Systemkomponenten. Dabei sollten sowohl die automatisierte Generierung eines exakten digitalen Abbilds im Detail betrachtet werden, als auch die Analyse der Bestandsdokumentation sowie die nachstehende Semantisierung des Modells. Eine weitere Einschränkung ist die Nichtbetrachtung der unterschiedlichen Spezifikationen und Komplexitäten verschiedener Brückentypen im Rahmen des Systemansatzes. So können für jeden Brückentyp weitere individuelle Herausforderungen und Schnittstellenprobleme in den einzelnen Systemkomponenten entstehen, die durch den generischen Ansatz nicht vollumfänglich umgesetzt werden können. Dieser Limitation kann durch die Betrachtung verschiedener Bauwerkstypen bei der Testung des Ansatzes entgegengewirkt werden. Zukünftige Forschungsaktivitäten implizieren die Umsetzung, Testung und Validierung des ganzheitlichen Systemansatzes. Darüber hinaus sollten die Schnittstellen zwischen den einzelnen Prozessstufen und technischen Komponenten untersucht sowie optimiert werden, sodass am Ende die Prozesskette einen hohen Automatisierungsgrad erreicht.

Aufbauend darauf sollte die Effektivität im Kontext der Zeit- und Kostenersparnis gegenüber der manuellen Modellerstellung von Bestandsbrückenmodellen getestet werden, um so den Mehrwert des Systems für Dritte in der Wirtschaft darzustellen. Ferner soll in weiteren Untersuchungen die Erweiterbarkeit des Systemansatzes auf andere Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur, wie z.B. Tunnel, Dämme, Schleusen, Wehren etc. erforscht werden.

6 Ausblick

In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur (teil-)automatisierten Generierung von digitalen Bauwerksmodellen mittels Multi-Daten-Fusion aus Laserscandaten und vorhandener Bestandsdokumentation vorgestellt. Anhand einer Darstellung des Systemansatzes wird der ganzheitliche Ansatz und die Funktionalität der einzelnen Systemkomponenten in dem Fachartikel detailliert beschrieben. Im Anschluss wurde der Systemansatz diskutiert, Limitationen betrachtet und zukünftige Forschungsbedarfe aufgezeigt.

Das System betrachtet die Prozesskette zur (teil-)automatisierten Generierung und Semantisierung von digitalen Bestandsbrückenmodellen ganzheitlich. Es nutzt vorhandene Potenziale der Digitalisierung durch die Integration von disruptiven Technologien, wie beispielsweise KI und AR, in den einzelnen Systemkomponenten zur Steigerung des Automatisierungsgrades und Erhöhung der Effizienz.

Weitere Forschungsaktivitäten sowie die prototypische Umsetzung und Validierung des Systemansatzes in naher Zukunft werden die Prozesseffizienz und den Automatisierungsgrad zur Generierung von digitalen Bestandmodellen von Bauwerken der Verkehrsinfrastruktur erhöhen.

Danksagung

Diese Forschung wird gefördert durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) im Rahmen des Förderprogramms mFUND im Projekt mdfBIM+ (FKZ: 19FS2021A).

7 Literatur

- [1] R. Hartung, L. Senger und K. Klemmt-Albert, „Linking Building Information Modeling and Structural Health Monitoring for Reliable Railway Infrastructure“ in *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference (ESREL)*, 2019, S. 596–603, doi: 10.3850/978-981-11-2724-3_0971-cd.
- [2] R. Hartung, „Vorgehensweise zur Bewertung von Schäden an Ingenieurbauwerken auf Basis objekt-orientierter Bauwerksmodelle“. Dissertation, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover.
- [3] K. Klemmt-Albert, R. Hartung und S. Bahlau, „Enhancing Resilience of Traffic Networks with a Focus on Impacts of Neuralgic Points Like Urban Tunnels“ in *2016 International Workshop on Resiliency of Urban Tunnels*, Reston, Virginia, USA, 2018, S. 55–70, doi: 10.1061/9780784415139.ch05.
- [4] R. Hartung, R. Schönbach, D. Liepe und K. Klemmt-Albert, „Automatized Parametric Modeling to Enhance a data-based Maintenance Process for Infrastructure Buildings“ in *37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Kitakyushu, Japan, 2020, doi: 10.22260/ISARC2020/0038.

- [5]J. Bednorz, I. Hindersmann, K. Jaeger und M. Marszalik, „Methoden zur Generierung von As-Built-Modellen für Bestandsbrücken“, *Bautechnik*, Jg. 97, Nr. 4, S. 286–294, 2020, doi: 10.1002/bate.202000011.
- [6]H. Naraniecki, R. Hartung, S. Marx und K. Klemt-Albert, „Zustandsprognose von Ingenieurbauwerken auf Basis von digitalen Zwillingen und Bestandsdaten“, *Bautechnik*, Jg. 99, Nr. 3, S. 173–181, 2022, doi: 10.1002/bate.202100100.
- [7]*DIN 1076:1999-11, Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung*, Berlin.
- [8]M. Wenner, F. Wedel, O. Hahn und C. Ullerich, „Der digitale Zwilling - Grundlage für die prädiktive Instandhaltung der Infrastruktur“ in *Digitaler Zwilling: Strategie für den Bestandserhalt*, S. Marx et al., Hg., 51 Aufl. Berlin: DBV - Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., 2022, S. 15–19.
- [9]K. Klemt-Albert, *mdfBIM - Multi-Source Data Fusion zur teilautomatisierten Generierung eines objektbasierten digitalen Bestandmodells von Infrastrukturanlagen für den Eisenbahnbetrieb : Schlussbericht*. Hannover.
- [10]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.
- [11]Bundesministerium für Digitales und Verkehr, *Masterplan BIM Bundesfernstraßen: Digitalisierung des Planens, Bauens, Erhaltens und Betreibens im Bundes- Digitalisierung des Planens, Bauens, Erhaltens und Betreibens im Bundes-fernstraßenbau mit der Methode Building Information Modeling (BIM)*.
- [12]M. Breitenberger, J. Kreutz und T. Braml, „Effizientes BIM für die Planung von Infrastrukturmaßnahmen“, *Beton- und Stahlbetonbau*, Jg. 113, Nr. 1, S. 68–76, 2018, doi: 10.1002/best.201700059.
- [13]M. Hochmuth, T. Nguyen und M. Häußler, „Innovative und moderne Planungsmethoden im Brückenbau“, *Bautechnik*, Jg. 97, Nr. 2, S. 100–106, 2020, doi: 10.1002/bate.202000001.
- [14]H. Mischo, J. Seifried, K. Thiele, S. Schanzenbach und M. Grassl, „Vom 3-D-Laserscan zum BIM-Modell“, *Bautechnik*, Jg. 96, Nr. 7, S. 564–571, 2019, doi: 10.1002/bate.201900031.
- [15]C. Popescu, B. Täljsten, T. Blanksvärd und L. Elfgrén, „3D reconstruction of existing concrete bridges using optical methods“, *Structure and Infrastructure Engineering*, Jg. 15, Nr. 7, S. 912–924, 2019, doi: 10.1080/15732479.2019.1594315.
- [16]H. Macher, T. Landes und P. Grussenmeyer, „From Point Clouds to Building Information Models: 3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings“, *Applied Sciences*, Jg. 7, Nr. 10, S. 1030, 2017, doi: 10.3390/app7101030.
- [17]V. Pătrăucean, I. Armeni, M. Nahangi, J. Yeung, I. Brilakis und C. Haas, „State of research in automatic as-built modelling“, *Advanced Engineering Informatics*, Jg. 29, Nr. 2, S. 162–171, 2015, doi: 10.1016/j.aei.2015.01.001.
- [18]X. Xiong, A. Adan, B. Akinci und D. Huber, „Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data“, *Automation in Construction*, Jg. 31, S. 325–337, 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2012.10.006.
- [19]C. Wang, Y. K. Cho und C. Kim, „Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications“, *Automation in Construction*, Jg. 56, S. 1–13, 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.04.001.
- [20]C. Thomson und J. Boehm, „Automatic Geometry Generation from Point Clouds for BIM“, *Remote Sensing*, Jg. 7, Nr. 9, S. 11753–11775, 2015, doi: 10.3390/rs70911753.
- [21]R. Lu, I. Brilakis und C. R. Middleton, „Detection of Structural Components in Point Clouds of

- Existing RC Bridges“, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Jg. 34, Nr. 3, S. 191–212, 2019, doi: 10.1111/mice.12407.
- [22] G. Zhang, P. A. Vela und I. Brilakis, „Automatic Generation of As-Built Geometric Civil Infrastructure Models from Point Cloud Data“ in *2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Orlando, Florida, United States, 2014, S. 406–413, doi: 10.1061/9780784413616.051.
- [23] Q. Wang, H. Sohn und J. C. P. Cheng, „Automatic As-Built BIM Creation of Precast Concrete Bridge Deck Panels Using Laser Scan Data“, *J. Comput. Civ. Eng.*, Jg. 32, Nr. 3, S. 4018011, 2018, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000754.
- [24] L. Barazzetti, F. Banfi, R. Brumana, M. Previtali und F. Roncoroni, „BIM FROM LASER SCANS... NOT JUST FOR BUILDINGS: NURBS-BASED PARAMETRIC MODELING OF A MEDIEVAL BRIDGE“, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, III-5, S. 51–56, 2016, doi: 10.5194/isprs-annals-III-5-51-2016.
- [25] S. Goebbels, „3D Reconstruction of Bridges from Airborne Laser Scanning Data and Cadastral Footprints“, *J geovis spat anal*, Jg. 5, Nr. 1, 2021, doi: 10.1007/s41651-021-00076-9.
- [26] M. Mafipour, S. Vilgertshofer und A. Borrmann, „Deriving Digital Twin Models of Existing Bridges from Point Cloud Data Using Parametric Models and Metaheuristic Algorithms“ in *Proc. of the EG-ICE Conference 2021*, 2021.
- [27] L. Ma, R. Sacks, U. Kattel und T. Bloch, „3D Object Classification Using Geometric Features and Pairwise Relationships“, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Jg. 33, Nr. 2, S. 152–164, 2018, doi: 10.1111/mice.12336.
- [28] G. Qin, Y. Zhou, K. Hu, D. Han und C. Ying, „Automated Reconstruction of Parametric BIM for Bridge Based on Terrestrial Laser Scanning Data“, *Advances in Civil Engineering*, Jg. 2021, S. 1–17, 2021, doi: 10.1155/2021/8899323.
- [29] S. Adam, J. M. Ogier, C. Cariou, R. Mullot, J. Labiche und J. Gardes, „Symbol and character recognition: application to engineering drawings“, *International Journal on Document Analysis and Recognition*, Jg. 3, Nr. 2, S. 89–101, 2000, doi: 10.1007/s100320000033.
- [30] E. Elyan, C. M. Garcia und C. Jayne, „Symbols Classification in Engineering Drawings“ in *2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Rio de Janeiro, 2018, S. 1–8, doi: 10.1109/IJCNN.2018.8489087.
- [31] A. Rezvanifar, M. Cote und A. B. Albu, „Symbol Spotting on Digital Architectural Floor Plans Using a Deep Learning-based Framework“, 2020.
- [32] S. Vilgertshofer, D. Stoitchkov, A. Borrmann, A. Menter und C. Genc, „Recognising railway infrastructure elements in videos and drawings using neural networks“, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction*, Jg. 172, Nr. 1, S. 19–33, 2019, doi: 10.1680/jsmic.19.00017.

Anforderungen an einen Entkernungs- und Abbruchkostenindex

Dipl.-Ing. Holger Kesting¹, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helms²

¹ Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, hkesting@uni-wuppertal.de

² Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, helmsu@uni-wuppertal.de

Kurzfassung

Für die Planung kreislauffähiger Bauwerke und zur Ermittlung von Lebenszykluskosten ist die Entwicklung eines Entkernungs- und Abbruchkostenindex unabdingbar. Hierbei gilt es die Lebenszyklusphase Abbruch und die vorliegenden Konzepte zur Planung kreislauffähiger Bauwerke aufzuzeigen und zu analysieren. Weiter sind die am Markt verfügbaren Kostenindizes mit Bezug zum Rückbau bzw. Abbruch zu recherchieren und auf ihren Aufbau und den Mindestinformationsgehalt hin zu analysieren.

Im Sinne eines Top-Down-Ansatzes sind die wesentlichen Parameter herauszuarbeiten. Hierbei ist eine Grundstruktur mit Bezug zu Schadstoff, Entkernung, Abbruch und Entsorgung ermittelt worden. Weiterhin ist aufgezeigt worden, dass es für das C2C-Konzept, den Urban Mining Index und das DGNB-Zertifikat einen Kostenindex mit Bezug zum Rückbau und Abbruch benötigt. Dies auch vor dem Hintergrund, der Bereitstellung gesicherter Kosten. Die Einbindung der Kostengruppen nach DIN 276 sowie der Abfallschlüssel und die statistische Aufbereitung von Kosten zum Themenkomplex Abbruch sind zu benennen. Durch weiterführende Expertengespräche sind weitere mögliche Faktoren, die Einfluss auf die Bildung eines Einheitspreises haben, herauszuarbeiten.

Unter Einbeziehung der ermittelten Anforderungen ist im Sinne eines Bottom-Up-Ansatzes die Entwicklung eines Datenbanksystems umzusetzen. Hierbei kommt man der C2C-Forderungen nach, dass digitale Planung und Dokumentation einzubeziehen sind.

Schlagwörter: Lebenszyklus, Rückbau, Abbruch, Lebenszyklus, Lebenszykluskosten, C2C, Urban Mining, Kostenindex, Kostenplanung, Datenbanksystem, ...

Inhaltsverzeichnis

1	Planung kreislauffähiger Bauwerke	166
1.1	Lebenszyklus einer Liegenschaft.....	166
1.2	Cradle 2 Cradle – Ein Konzept der Kreislaufwirtschaft.....	167
1.3	Urban Mining Index	168
1.4	DGNB-Zertifikat Rückbau	169
2	Kosten(-planung) im Bauwesen	170
2.1	Lebenszykluskosten	171
2.2	Kosten im Bauwesen – DIN 276.....	172
2.3	Kostenindizes im Bauwesen	173
3	Anforderungen an einen Entkernungs- und Abbruchkostenindex.....	174
3.1	Anforderungen aus der Planung kreislauffähiger Bauwerke.....	175
3.2	Anforderungen aus der Kostenplanung im Bauwesen	176
4	Fazit – Ausblick	177
5	Literatur	177

1 Planung kreislauffähiger Bauwerke

Zukünftig sind Architekten und Planer gefragt, kreislauffähige Bauwerke zu planen und zu bauen. Betrachtet man den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes, ist die Lebenszyklusphase Betrieb hervorzuheben. In der Lebenszyklusphase Betrieb fallen zwischen 50 % bis zu 80 % aller Kosten, mit Bezug zum gesamten Lebenszyklus, an. [1]

Mit dem Augenmerk auf die Ressourcennutzung besitzt jedoch die Planung und Ausführung des Bauprojektes einen besonderen Stellenwert. Denn innerhalb der Planung und Ausführung werden die Weichen für die spätere Nutzungsphase, den Rückbau und somit für die ökologische Nachhaltigkeit des Gebäudes gestellt. „Die EU geht davon aus, dass 80 % der Auswirkungen eines Produkts in der Planungsphase beeinflusst bzw. in dieser vorhergesehen werden können.“ [2, S. 28] Ebenfalls kann festgehalten werden, dass „Ob ein Produkt recyclingfähig ist, aus welchen Materialien es besteht und welche Materialmengen zu verwenden sind, bestimmt das Produktdesign maßgeblich mit.“ [2, S. 29] Die notwendigen quantitativen Bewertungsmaßstäbe für den Rückbau fehlen jedoch bislang.

1.1 Lebenszyklus einer Liegenschaft

Der Lebenszyklus eines Gebäudes teilt sich in 5 separate Lebenszyklusphasen auf. Die Lebenszyklusphasen werden als Entwicklung, Planung, Realisierung, Betrieb und Abbruch bezeichnet (vgl. Abb. 1-1). Jede einzelne Lebenszyklusphase beinhaltet zur näheren Beschreibung der Phase wiederum Hauptprozesse. [3]

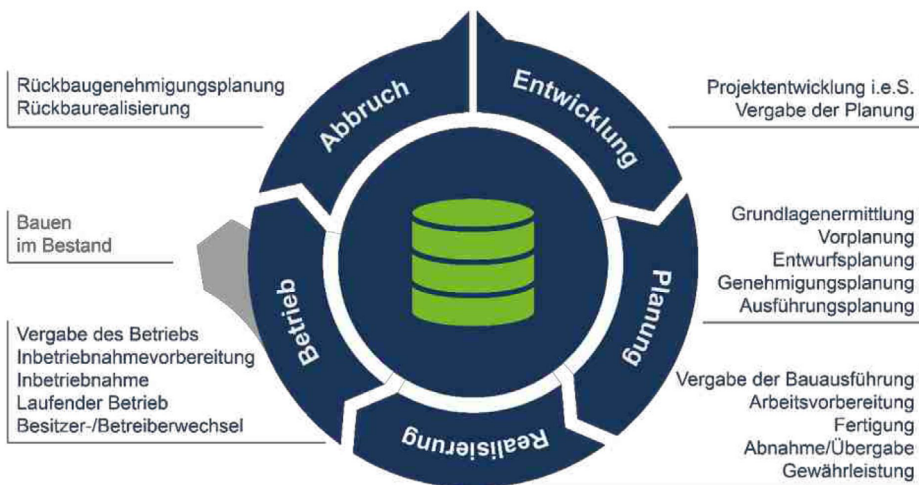


Abb. 1-1: Lebenszyklusphasen der Liegenschaft Anders, Bresser, Helmus, Meins-Becker, Kesting, Koch to Krax 2020 - Building Information Modeling BIM.jpg [4]

Die Lebenszyklusphase Entwicklung beinhaltet die Hauptprozesse „Projektentwicklung im engeren Sinne“ sowie die „Vergabe der Planung“. Die Lebenszyklusphase Planung befasst sich mit den Hauptprozessen der „Grundlagenermittlung“, „Vorplanung“, „Entwurfsplanung“, „Genehmigungsplanung“ und die „Ausführungsplanung“. In der Lebenszyklusphase Realisierung werden die Hauptprozesse „Vergabe der Bauausführung“, die „Arbeitsvorbereitung“, die „Fertigung“, die „Abnahme/Übergabe“ sowie die „Gewährleistung“ umgesetzt. In der Lebenszyklusphase Betrieb werden die Hauptprozesse „Vergabe des Betriebs“, „Inbetriebnahmevorbereitung“, „Laufender Betrieb“ und „Besitzer-/Betreiberwechsel“ umgesetzt. Die Lebenszyklusphase Abbruch beinhaltet die Hauptprozesse „Rückbaugenehmigungsplanung“ und die „Rückbaurealisierung“. Die dargestellte Abzweigung Bauen im Bestand in der Lebenszyklusphase Betrieb stellt den separaten Kreislauf „Bauen im Bestand“ dar. Der Kreislauf „Bauen im Bestand“ basiert auf den Prozessen der vorgenannten Lebenszyklusphasen Entwicklung, Planung, Realisierung sowie Abbruch einer Liegenschaft. Nach Fertigstellung des Kreislaufs „Bauen im Bestand“ gliedert sich dieser wieder in die Lebenszyklusphase Betrieb ein.

1.2 Cradle 2 Cradle – Ein Konzept der Kreislaufwirtschaft

„Dem Wortlaut nach bedeutet Kreislaufwirtschaft eine Bewirtschaftung ohne Anfang und Ende. Auf eine Bewirtschaftung von Stoffen bzw. Ressourcen übertragen, bedeutet dies, dass sie so bewirtschaftet werden sollen, dass sie den Kreislauf nicht verlassen, sondern vielmehr im Kreislauf verbleiben. Nach dem Ende ihrer Lebensdauer sollen sie in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden und somit weiter für andere oder dasselbe Produkt genutzt werden.“ [2, S. 36] Ein auf diesem Zitat beruhendes Konzept für die Planung kreislauffähiger Bauwerke ist das Cradle 2 Cradle (C2C) Konzept. Basierend auf den gültigen Vorschriften bei der Errichtung von Gebäuden zur Einhaltung von sicherheitsrelevanten Standards wird von C2C-inspirierten Gebäuden gesprochen. [5]

Ein Instrument für die Umsetzung eines C2C-inspiriertes Gebäude wird auch in der nachträglichen Digitalisierung des Gebäudebestandes gesehen. [6]

*Denn „85 bis 95% der heute bestehenden Gebäude werden der EU-Kommission zufolge voraussichtlich auch im Jahr 2050 noch existieren, sodass wir die Potenziale der darin bereits vorhandenen Materialien nutzen sollten. Dies kann anhand von Kennwerten wie Baujahr, Typ oder Volumen sowie anhand des Erfahrungsaustauschs zwischen Expert*innen erfolgen.“* [7]

Die C2C-Projektphasen [8] orientieren sich an dem Lebenszyklus einer Liegenschaft (vgl. Abb. 1-1: Lebenszyklusphasen der Liegenschaft Anders, Bresser, Helmus, Meins-Becker, Kesting, Koch to Krax 2020 - Building Information Modeling BIM.jpg [4]). In der Projektphase Planung wird auf die Planung des Rückbaus verwiesen, welcher auf die Hauptprozesse der Lebenszyklusphase Abbruch aus dem Lebenszyklus einer Liegenschaft eingeht. [4] Darüber hinaus ist die digitale Planung und digitale Dokumentation der Ausführung und des Gebäudebetrieb der C2C-Projektphasen ein weiteres Kriterium des C2C-Konzeptes. Hierbei wird darauf eingegangen, dass mögliche Stoffströme und Materialwerte im Sinne des Urban Mining abbildbar sind. [7] Weiterhin kann dem

C2C-Konzept entnommen werden: „Zudem sollte in allen Wirtschaftlichkeitsberechnungen ein Vergleich von Abriss oder Rückbau und Kosten eines Neubaus verpflichtend sein - immer unter Beachtung der ökologischen Auswirkungen und deren finanziellen Implikationen.“ [9]

1.3 Urban Mining Index

Der Urban Mining Index (UMI) stellt eine Methode zur Bewertung der Kreislaufpotentiale von Baukonstruktionen zur Verfügung. Die Bewertung der Kreislaufpotentiale von Baukonstruktionen erfolgt anhand der Betrachtung von offenen und geschlossenen Kreisläufen für Materialien und Wertstoffe. Der UMI ermittelt hierfür ein Loop-Potential (offen) und ein Closed-Loop-Potential (geschlossen).

Der Urban Mining Index definiert *„Das Closed-Loop-Potenzial ist der prozentuale Anteil an Materialien und Baustoffen einer Konstruktion, der unter Berücksichtigung definierter Kriterien ohne Qualitätsverlust in geschlossenen Kreisläufen geführt werden kann. Die Wiederverwendung und Wiederverwertung gehören zu den Nachnutzungsstrategien, bei denen kein Qualitätsverlust eintritt.“* [10, S. 25] Ferner, besagt der Urban Mining Index, dass *„Zum Loop-Potenzial einer Konstruktion zählen über den prozentualen Closed-Loop-Anteil hinaus auch Anteile an Materialien und Baustoffen, die unter Berücksichtigung definierter Kriterien eine stoffliche Verwertung mit Qualitätsverlust (Weiterverwertung/Downcycling) ermöglichen. Das Loop-Potenzial bildet damit über die geschlossenen Kreisläufe hinaus auch offene Kreisläufe ab. Das Closed-Loop-Potenzial ist somit Teil des Loop-Potenzials.“* [10, S. 25]

Darüber hinaus teilt der UMI den Lebenszyklus von Baukonstruktionen in die drei nachfolgend aufgelisteten Phasen auf:

- Pre-Use-Phase
- Use-Phase
- Post-Use-Phase.

Die Ermittlung der Kreislaufpotentiale wird getrennt für die Pre-Use und Post-Use-Phase durchgeführt. So dass sich ein Closed-Loop-Potential Pre- und Post-Use sowie ein Loop-Potential Pre- und Post-Use für die Bewertung ermitteln lässt.

Wesentliche Parameter zu Bestimmung der Loop- und Closed-Loop-Potentiale sind die

- materielle Ebene
- konstruktive Ebene
- wirtschaftliche Ebene.

Hierbei sind Auswirkungen von der materiellen über die konstruktive Ebene hin in die wirtschaftliche Ebene ersichtlich. Diese Auswirkungen dienen der Bezifferung eines Aufwandwertes für den Rückbau bzw. die Trennung von Materialien. Der UMI macht deutlich: *„Im Grunde braucht es hierfür einen „Abbruchkosten-Index“, ähnlich dem BKI*

Baukostenindex, der sowohl für konventionelle als auch für kreislaufgerechte Konstruktionen Abbruchkosten bereitstellt.“ [10, S. 98]

1.4 DGNB-Zertifikat Rückbau

Zur Schließung der Stoffströme im Bauwesen und um eine Förderung der Bausubstanz in der Wertigkeit im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu etablieren hat die DGNB mit dem Blick auf die Planung von Rückbaumaßnahmen das DGNB-Rückbauzertifikat [11] für den nachhaltigen Rückbau entwickelt. *„Durch das Schaffen von Transparenz hinsichtlich der der Kalkulation der Rückbaukosten zugrunde liegenden Datenqualität sowie der verbleibenden Risiken soll der Bauherr im Entscheidungsprozess unterstützt werden.“ [12, S. 49]*

Das Zertifikat wird auf Grundlage von zu bewertenden Kriterien ausgestellt. Die zu bewertenden Kriterien werden in die fünf Themenfelder Ökologische Qualität, Ökonomische Qualität, Soziokulturelle und funktionale Qualität sowie Technische Qualität und Prozessqualität aufgeteilt. Die fünf Themenfelder sind gleich gewichtet. Jede Gewichtung fließt mit einem 20%-Anteil am Gesamtergebnis in die Bewertung des DGNB-Zertifikates mit ein. [11]

Die Bewertung innerhalb des DGNB-Zertifikats für den Gebäude-Rückbau wird über 12 Kriterien, die den vorgenannten fünf Themenfeldern zugeordnet sind, umgesetzt (vgl. Abb. 1-2).

Das Themenfeld „Ökologische Qualität“ beinhaltet die Kriterien „Materialstrombilanz“ und „Gefahrstoffsanierung“. Dabei entfallen von den zu erreichenden 20 % auf die „Materialstrombilanz“ 12 % und 8 % auf die „Gefahrstoffsanierung“.

Das Themenfeld „Ökonomische Qualität“ teilt sich nochmal in die Kriterien „Risikobewertung und Kostensicherheit“ sowie „Werte ausbaufähiger Ressourcen“ auf. Der Anteil der „Risikobewertung und Kostensicherheit“ beträgt 14 % und der Anteil „Werte ausbaufähiger Ressourcen“ beläuft sich auf 6 %.

Das Themenfeld „Soziokulturelle und funktionale Qualität“ beinhaltet das Kriterium „Projekt-kommunikation“ mit einem 10 %-Anteil und das Kriterium „Sicherheit“ welches ebenfalls einen 10 %-Anteil aufweist.

Das Themenfeld „Technische Qualität“ teilt sich in die Kriterien „Verwertung und Entsorgung“ und „Sortenreine Trennung und Kreislaufführung“ auf. Der Anteil „Verwertung und Entsorgung“ beläuft sich auf einen 8 %-Anteil und die „Sortenreine Trennung und Kreislaufführung“ beläuft sich auf einen 12 %-Anteil.

Das Themenfeld „Prozessqualität“ beinhaltet die vier Kriterien „Rückbauplanung“ mit einem 8%-Anteil, „Ausschreibung“, „Qualitätssicherung und Dokumentation“ sowie „Baustelle und Rückbauprozess“ mit jeweils einem 4 %-Anteil.

Das Kriterium „Risikobewertung und Kostensicherheit“ weist mit einem 14 %-Anteil, im Vergleich zu den anderen Kriterien, den höchsten Prozentsatz auf. Danach folgen Kriterien mit Bezug zur Kreislaufführung und der Materialstrombilanz.

Hierdurch wird deutlich, dass das Themenfeld der „Risikobewertung und Kostensicherheit“ sowie der „Sortenreinen Trennung und Kreislaufführung“ und der „Materialstrombilanz“ einen hohen Stellenwert beigemessen wurde.

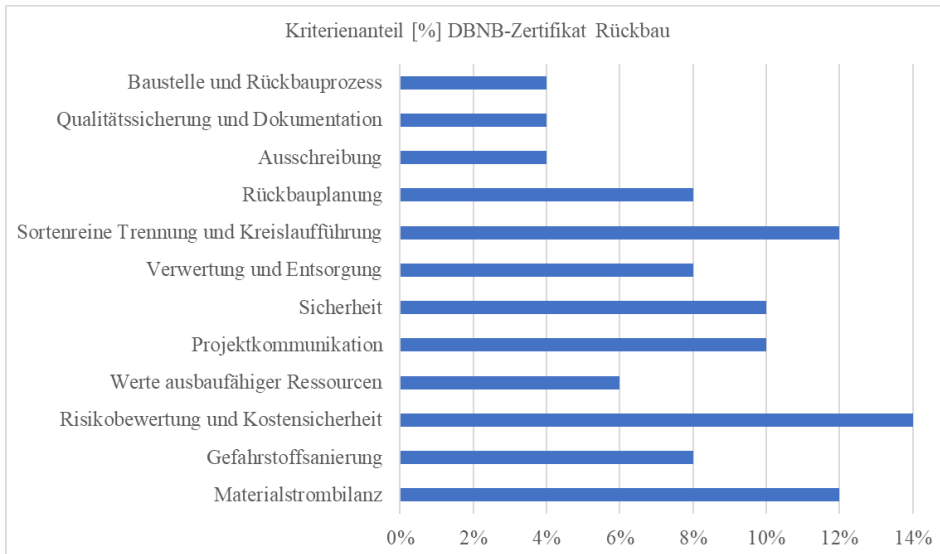


Abb. 1-2: Kriterienanteil DGNB-Zertifikat Rückbau

2 Kosten(-planung) im Bauwesen

Geht man der Fragestellung nach transparent verfügbaren Rückbaukosten nach, kommt man zu dem Ergebnis, dass es an verfügbarem Wissen zu diesem Themenfeld fehlt. Mit Bezug zum Neubau, für den es kommerziell verfügbare Literatur zu objektbezogenen Baukostenindizes gibt, sind für den Bereich Rückbau und Abbruch keine Quellen für objektbezogene Abbruchkosten im Sinne von Abbruchkostenindizes ermittelt worden. Die Untersuchung ergab weiterhin, dass Abbruchunternehmen einfach gehaltene Eingabemasken auf ihren Webseiten anbieten, über die potenzielle Kunden ihre Gebäudedaten eingeben und einen ersten Richtpreis ermitteln lassen können. [13] Diese Masken sind jedoch nicht so detailliert, dass sie als hinreichend zur Preisermittlung angesehen werden können, insbesondere nicht vor dem Hintergrund der verschärften Trenn-, Sammel- und Entsorgungsanforderungen. [14] Sie verdeutlichen jedoch den Bedarf und die Nachfrage für die präzise, frühzeitige Kostenabschätzung für Abbruchvorhaben. Darüber hinaus wird der Wandel in den Abbruchtechniken weiterhin vollzogen. Vor dem Hintergrund immer knapper werdender Ressourcen und Endlagermöglichkeiten (Deponien), ist man von dem konventionellen Abbruch her dazu übergegangen, den selektiven Rückbau als den Stand der Technik darzustellen.

Die Herstellung, Instandsetzung sowie der Abbruch und die anschließende Entsorgung eines Gebäudes sind ständig von Kostenverschiebungen betroffen. Vor allem die Entsorgungskosten von nicht verwertbaren Bauabfällen werden auch aufgrund der Deponieknappheit zukünftig steigen. [15] [16] [17] Die erforderlichen Entsorgungswege

werden weiterhin ansteigen. Auf Grundlage dessen erhöhen sich ebenfalls die Entsorgungskosten, welche sich auf den Rückbauangebotspreis auswirken.

Ziel ist es, ein strukturiertes Planungsinstrument zu entwickeln, welches es ermöglicht, auch das Nutzungsende einer Immobilie in die Lebenszykluskostenanalyse monetär mit einzubeziehen. Es sollen gesicherte Kosten für die Entkernungs-, Abbruch- und Entsorgungsaufwendungen zusammengestellt werden, die für Transparenz in der Kostenermittlung sorgen.

2.1 Lebenszykluskosten

Zu den wesentlichen Zertifizierungssystemen am deutschen Markt zählen die Zertifikate BREEAM, LEED und DGNB. Wobei die DGNB den größten Marktanteil ausweist. [1] Für die Bewertung der Nachhaltigkeitszertifikate werden auch die Ermittlung der Lebenszykluskosten mit herangezogen. Hiervon weist das DGNB-Zertifikat der Bewertung von Lebenszykluskosten einen 13 %-Anteil am Gesamtanteil aus. Dies ist der größte Anteil innerhalb einer Bewertung für Nachhaltigkeits-zertifikate. [18]

Zu den Lebenszykluskosten im engeren Sinne zählen die

- Baukosten
- Betriebskosten
- Kosten für Reinigung, Pflege und Instandhaltung
- Kosten für Rückbau und Entsorgung
- bzw. sonstige End-of-life-Szenarien. [19]

Die gesetzlichen steuerlichen Abschreibungsregeln für eine neue Immobilie betragen 2 % pro Jahr. Hieraus ergibt sich ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, bis die Immobilie komplett abgeschrieben ist. Dieser Betrachtungszeitraum wird für die Berechnung der Lebenszykluskosten zugrunde gelegt. Die Grundlage zur Berechnung der Lebenszykluskosten bilden die Herstellkosten nach DIN 276 für die Kostengruppen 300 und 400. Ebenso werden ausgewählte Nutzungskosten nach DIN 18960 herangezogen. Die ermittelten Kosten für den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren werden auf die Brutto-Grundfläche (BGF) in der Flächeneinheit m² bezogen. [1]

Betrachtet man die Entwicklung der kumulierten Kosten entlang der vertikalen Achse bezogen auf die horizontal verlaufenden Lebenszyklusphasen (Konzept, Planung, Erstellung, Nutzung und Abbruch) stellt man fest, dass die Beeinflussbarkeit, auf die sich ergebenden Lebenszykluskosten, im Wesentlichen auf die Lebenszyklusphasen Konzept und Planung konzentrieren. Im weiteren Zeitverlauf nimmt die Einflussnahme auf die sich einstellenden Lebenszykluskosten ab. Darüber hinaus ist erkennbar, dass sich die Kostenentwicklung für eine lebenszyklusoptimierte Planung innerhalb der Phasen Planung und Erstellung gegenüber einer konventionellen Planung erhöhen. Im weiteren zeitlichen Verlauf entwickeln sich die kumulierten Kosten für die lebenszyklusoptimierte Planung wesentlich geringer als die der konventionellen Planung. Die Kostendifferenz zwischen der konventionellen Planung und der lebenszyklusoptimierten Planung wird als „potentielle Einsparung nach Ablauf des Lebenszyklus“ dargestellt. (vgl. Abb. 12-3).

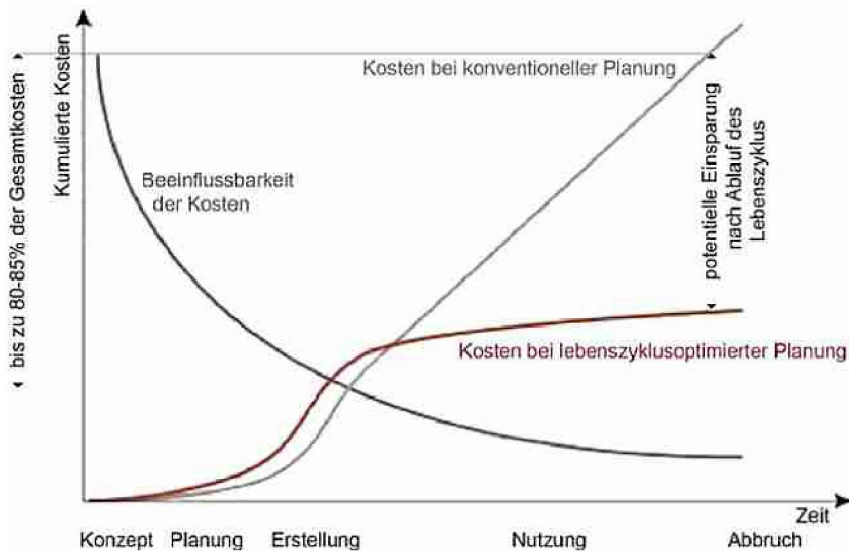


Abb. 1-3: Beeinflussbarkeit von Lebenszykluskosten [1, S. 24]

Anhand Abb. 1-3 wird deutlich, dass der Einfluss auf sich einstellende Lebenszykluskosten maßgeblich in der frühen Phase eines Lebenszyklus des Bauwerks ist.

2.2 Kosten im Bauwesen – DIN 276

Eine Kostenplanung im Bauwesen wird unter Verwendung der Norm DIN 276:2018-12 „Kosten im Bauwesen“ (DIN 276) umgesetzt. Hierbei dient die DIN 276 im Wesentlichen bei der Kostenermittlung und Kostengliederung im Neubau, Umbau und der Modernisierung von Bauwerken und Anlagen. Mit der Kostenplanung werden die Ziele der Wirtschaftlichkeit, Kostensicherheit und der Kostentransparenz für ein Bauprojekt verfolgt. Darüber hinaus werden die aufgestellten Kostenermittlungen als Grundlage für Finanzierungen, Entscheidungsfindungen mit Blick auf die Vergabe und Ausführung sowie der nachträglichen Begutachtung und Bewertung von entstandenen Baukosten herangezogen. Die Verwendung der DIN 276 stellt sicher, dass die durchzuführenden Kostenermittlungen vergleichbar sind. Je nach Zeitpunkt innerhalb eines Bauprojektes werden unterschiedliche Kostenermittlungen durchgeführt. Diese können einmalig zu einem bestimmten Projektzeitpunkt durchgeführt werden, oder innerhalb des Projektablaufes in mehreren Schritten wiederholt durchgeführt werden. [20]

Die Kostenermittlung „Kostenrahmen“ stellt den Beginn der Kostenermittlung innerhalb eines Bauprojektes dar. Basierend auf den vorliegenden Informationen zur Erstellung der Kostenermittlung „Kostenrahmen“, ist die Genauigkeit der ermittelten Kosten noch mit Unsicherheiten behaftet. Im weiteren Projektverlauf werden die zugrundeliegenden Informationen für die Erstellung der weiteren Kostenermittlungen detaillierter. Zum Ende eines jeden Bauprojektes wird die Kostenermittlung „Kostenfeststellung“ durchgeführt. Die zur Verfügung gestellten Informationen für die Kostenfeststellung beruhen auf den tatsächlich angefallenen Ist-Aufwendungen. [20]

Die Analyse der zugrunde zulegenden Mindestinformationen für die Durchführung einer jeden Kostenermittlung sind nachfolgende Parameter

- Leistungsbeschreibungen
- Mengen
- Prüfbare Belege - Nachweise
- Eingruppierung der Kosten zu den Ebenen der Kostengruppen nach DIN 276.

2.3 Kostenindizes im Bauwesen

Neben der Anwendung von Kostengruppen zur Erstellung von Kostenermittlungen werden auch die für die Erstellung einer Kostenermittlung zugrundeliegenden Kosten benötigt. Hierbei unterstützen am Markt verfügbare Kostenindizes.

Bei der Durchführung der Marktanalyse nach verfügbaren Indizes mit Bezug zu Baukosten im Allgemeinen, konnten nachfolgende Anbieter ermittelt werden:

- Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI)
- SIRADOS Baudaten
- Dynamische BauDaten
- Baupreislexikon
- Plümecke
- Baukosten 2020/21

Die BKI Baukostendatenbank wird unter anderem in Form von Fachbüchern, die wiederum in Fachbuchreihen zusammengefasst sind, herausgegeben. Innerhalb der BKI-Fachbücher werden statistische Kostenkennwerte zu Bauprojekten veröffentlicht. Die Grundlage für die Auswertung der statistischen Kostenkennwerte bilden bereits abgeschlossene Bauprojekte. Die Daten werden von externen Planern bzw. Ausschreibenden dem BKI zur Verfügung gestellt. [21]

Die ausgewiesenen statistischen Kostenkennwerte der einzelnen Fachbücher unterscheiden sich hinsichtlich ihres Detaillierungsgrades. Der Detaillierungsgrad lehnt sich an die Kostengruppenebene der DIN 276 an. Hierbei werden die Varianten

- Gebäude
- Bauelemente
- Positionen

unterschieden. Die Analyse der Fachbuchreihen des BKI hat ergeben, dass die Fachbuchreihe „Altbau“ als einzige Fachbuchreihe Kostenkennwerte mit Bezug zum Themenkomplex Abbruch – Demontagearbeiten darstellt.

Die SIRADOS Baudaten werden unter anderem als Fachbücher zur Erstellung von Kostenermittlungen nach DIN 276 und zur Erstellung von Ausschreibungen herausgegeben. Darüber hinaus werden durch SIRADOS Baudaten mehrere Fachbücher als

Kalkulationshilfe zur Verfügung gestellt. In den Fachbüchern werden Baupreise auf Grundlage von Preiseingängen aktueller Ausschreibungen dokumentiert. Die Analyse der SIRADOS Baudaten Fachbücher hat ergeben, dass nachfolgende Fachbücher

- Loseblattwerk Altbau
- SIRADOS Baupreishandbuch
- SIRADOS Kalkulationsatlas für Roh- und Ausbauarbeiten im Altbau

Kostenkennwerte mit Bezug zum Themenkomplex Abbruch- und Demontagearbeiten ausweisen.

Die Produkte aus dem Portfolio von Dynamische BauDaten (DBD) sind nicht als Fachbücher erhältlich. Die DBD Produkte werden ausschließlich als Softwareprodukte vertrieben. Die Grundlage aller DBD Softwareprodukte ist das STL-Bau. Die Analyse der zur Verfügung stehenden Softwareprodukte hat ergeben, dass das Produkt „DBD BauPreise“ für die Kostenermittlung nach DIN 276 herangezogen werden kann. In „DBD BauPreise“ werden die Preise je Leistungsposition ausgewiesen. Die ausgewiesenen Preise werden unter Verwendung einer Musterkalkulation und von DBD eigens ermittelten, als auskömmlich angesetzte Durchschnittswerte, Ansätze für die Einzelkosten der Teilleistung (EKT) berechnet. DBD bezeichnet diese Form der Preisermittlung als „Orientierungspreise“. [22] Durch die Einbindung von STL-Bau ist ein Bezug zum Themenkomplex Abbruch- und Demontagearbeiten hergestellt.

Baupreislexikon ist eine Internetseite, auf der Orientierungspreise für Bauleistungen unter Verweis auf die DIN 276 ausgewiesen werden. Die Analyse, der auf der Internetseite zur Verfügung gestellten Informationen, ergab, dass es sich hierbei um ein ähnliches Produkt wie „DBD BauPreise“ handelt.

Bei dem Fachbuch Plümecke – Preisermittlung für Bauarbeiten handelt es sich um ein Fachbuch für die Bereitstellung von Daten für die Zuschlagskalkulation von Bauleistungen. Basierend auf den EKT-Ansätzen werden beispielhaft Leistungspositionen vorgerechnet. Das Fachbuch beinhaltet auch ein Kapitel zu Abbruch- und Rückbauarbeiten. [23] Die Fachbuchreihe Baukosten 2020/21 Band 1: Altbau – Instandsetzung, Sanierung, Modernisierung, Umnutzung kann für die Erstellung von Kostenermittlungen nach DIN 276 verwendet werden. Die Zuordnung zu den Leistungsbereichen des STL-Bau ist auch gegeben. Das Fachbuch widmet sich ebenfalls dem Themenkomplex Abbruch- und Rückbauarbeiten. Der Inhalt zum Themenkomplex Abbruch und Rückbauarbeiten ist im Vergleich zu den anderen Produkten sehr gering. [24]

3 Anforderungen an einen Entkernungs- und Abbruchkostenindex

Betrachtet man die vorgenannten Analysen zu der Planung von kreislauffähigen Bauwerken und der Kostenplanung im Bauwesen können hieraus die ersten Anforderungen an die Entwicklung eines Entkernungs- und Abbruchkostenindex (EKI) hergeleitet werden.

3.1 Anforderungen aus der Planung kreislauffähiger Bauwerke

3.1.1 Anforderungen aus dem Lebenszyklus einer Liegenschaft

Anhand des Lebenszyklus einer Liegenschaft (vgl. Kap. 1.1) kann festgehalten werden, dass der EAKI innerhalb der Prozesse anwendbar sein soll. Darüber hinaus liefern die Prozesse aus der Lebenszyklusphase Abbruch mögliche Teilstrukturen für den inhaltlichen Aufbau. Ferner können aus den modellierten Prozessen notwendige Dokumente für die weitere Analyse von Anforderungen herangezogen werden. Als eine mögliche inhaltliche Strukturierung kann festgehalten werden, dass eine Aufteilung nach

- Schadstoff
- Entkernung
- Abbruch
- Entsorgung

sinnvoll ist.

3.1.2 Anforderungen aus dem C2C-Konzept

Aus der Analyse des C2C-Konzeptes (vgl. Kap. 1.1) kann man ableiten, dass die Anforderung einer Entsorgungszuordnung von Materialien und ggf. der Leistungen zu den Abfallschlüsseln und der Abfallbezeichnung aus der „Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis – (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV)“ zu erfüllen ist. Gleichzeitig sollte eine Auswertbarkeit von Materialien und der zugehörigen Zuordnung zur AVV für ein gesamte Bauwerk ermöglicht werden. Hierdurch könnten Aussagen abgeleitet werden, welches Recycling-Potential für Bauwerke möglich ist. Ebenfalls sind mögliche Aussagen zu schadstoffbelasteten Materialien möglich. Was wiederum zu Aussagen einer Gebäudezusammensetzung im Sinne eines C2C-Konzeptes führen kann. Weiterhin sind C2C-Forderungen, dass die digitale Planung und Dokumentation einzubeziehen sind. Hierdurch kann abgeleitet werden, dass ein Entkernungs- und Abbruchkostenindex diese Grundlage bedienen sollte.

3.1.3 Anforderungen aus dem UMI

Der Urban Mining Index (vgl. Kap. 1.3) geht in seiner Aussage und Forderung weiter, und verlangt nach einem Abbruchkostenindex, der dem Beispiel des BKI folgt. Mögliche Anforderungen aus Kostenindizes sind separat untersucht worden (vgl. Kap. 2.3). Die Anforderungen aus dem Urban Mining Index können im Wesentlichen auf die Parameter zur Bestimmung der Loop- und Closed-Loop-Potentiale eingegrenzt werden.

3.1.4 Anforderungen aus dem DGNB-Zertifikat Rückbau

Die Anforderungen aus dem DGNB-Zertifikat Rückbau basieren auf der Analyse des einzuhaltenden Kriterienkatalogs. Das am Wesentlichen hervorgehobene Kriterium ist das Kriterium „Risikobewertung und Kostensicherheit“. Die Unterstützung bei der

„Rückbauplanung“, „Sortenreinen Trennung und Kreislaufführung“, „Verwertung und Entsorgung“, „Gefahrstoffsanierung“ und der „Materialstrombilanz“ sind weitere mögliche Anforderungen, die mit dem EAKI umsetzbar wären.

3.2 Anforderungen aus der Kostenplanung im Bauwesen

3.2.1 Anforderungen aus den Lebenszykluskosten

Mögliche Anforderungen aus der Lebenszykluskostenbetrachtung (vgl. Kap. 2.1) für die Entwicklung und den Aufbau eines EAKI können zum einen auf die Bereitstellung von Kosten für den Rückbau und Entsorgung sowie sonstiger End-of-life-Szenarien hergeleitet werden. Weiterhin ist die Einbindung der Kostengruppen nach DIN 276 in Betracht zu ziehen. Die Aufbereitung der zur Verfügung gestellten Daten eines EAKI sollten auch den Anforderungen gerecht werden, dass die Daten für die Berechnung der Lebenszykluskostenberechnung in den frühen Phasen „Konzept“ und „Planung“ möglich sind.

3.2.2 Anforderungen aus der DIN 276

Die Anforderungen aus der DIN 276 (vgl. Kap. 2.2) beziehen sich darauf, dass die Daten des Entkernungs- und Abbruchkostenindex für die Kostenermittlung anhand der DIN 276 herangezogen werden können. Weiterhin sollten die Mindestinformationen für die Durchführung einer jeden Kostenermittlung

- Leistungsbeschreibungen
- Mengen
- Prüfbare Belege – Nachweise
- Eingruppierung der Kosten zu den Ebenen der Kostengruppen nach DIN 276

in Betracht gezogen werden. Wohingegen die „Prüfbaren Belege – Nachweise“ darauf zurückzuführen sind, dass die bereitgestellten Daten für den Inhalt des EAKI auf von Abbruch-Unternehmen kalkulierten Ansätzen von tatsächlichen Angeboten erfolgt.

3.2.3 Anforderungen aus Kostenindizes im Bauwesen

Die Anforderungen aus den Kostenindizes im Bauwesen (vgl. Kap. 2.3) können im Zusammenhang mit den vorgenannten Anforderungen auf weitere zusätzlich Punkte zusammengefasst werden. Hierbei ist die Bereitstellung statistischer Kostenkennwerte, das Einbindung des STL-Bau, die Zuordnung der Kostenkennwerte zu Kostengruppen der DIN 276, die Bereitstellung der Daten von externen Partnern bereits abgeschlossener Bauprojekte für die Ermittlung statistischer Kostenkennwerte, sowie das Veröffentlichens als Fachbuch und als Onlinevariante zu benennen.

4 Fazit – Ausblick

Zu den vorgenannten Anforderungsparametern sind noch zusätzliche Parameter für die Auswertung von statistischen Kostenkennwerten zu ermitteln. Hierbei sind die Unterlagen von unterstützenden Partnern heranzuziehen. Zum einen sind dies Leistungsverzeichnisse und zusätzliche Planungs- und Ausschreibungsunterlagen mit Bezug zum Rückbau und Abbruch. Hierbei kann das Rückbau- und Entsorgungskonzept sowie der Rückbauantrag benannt werden. Eine tiefergehende Analyse der Prozesse der Lebenszyklusphase Abbruch kann ggf. weitere Dokumente aufzeigen. Weiterführende Expertengespräche können zur Ermittlung von Einflussfaktoren zur Bildung des Einheitspreises von Rückbau-, Abbruch- und Entsorgungsleistungen beitragen.

Ebenfalls ist die Zuordnung der Abfallschlüsselnummern in Expertengesprächen zu Leistungs- und Entsorgungspositionen herauszuarbeiten. Im Sinne eines kreislaufgerechten Bauens ist die Zuordnung der Kostengruppen nach DIN 276 nicht nur auf den Abbruch und die Entsorgung zu begrenzen. Hier sollte eine Zuordnung, wie beim Neubau, erfolgen.

Damit die komplexen Zusammenhänge für eine nachträgliche Auswertung von Abbruchkosten abbildbar und auswertbar sind, gepaart mit der Forderung nach der Digitalisierung, ist die Umsetzung in Form eines Datenbanksystems (DBMS) [25] zu bevorzugen und zu entwickeln.

5 Literatur

[1]O. Litau, *Nachhaltiges Facility Management im Wohnungsbau*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.

[2]M. Alt, *Ökodesign und Kreislaufwirtschaft*. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2018.

[3]Khorrami, Kaufhold und Kesting, „Grundlagenbericht - Building Information Modeling und Prozesse“, S. 1–112, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://biminstitut.uni-wuppertal.de/fileadmin/biminstitut/Download-Bereich/Forschungsprojekte-_BIM-basiertes_Betreiben/Grundlagenbericht.pdf

[4]Anders, Bresser, Helmus, Meins-Becker, Kesting, Koch to Krax, *Building Information Modeling (BIM) als Basis für den Umgang mit digitalen Informationen zur Optimierung von Stoffkreisläufen im Bauwesen*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dbu.de/projekt_33110/01_db_2848.html (Zugriff am: 11. April 2022).

[5]C2C im Bau: Orientierung für Kommunen, *3.1 C2C-inspirierte Gebäude - C2C im Bau: Orientierung für Kommunen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://c2c-bau.org/3-grundlagen-c2c-bau/3-1-c2c-inspirierte-gebäude/> (Zugriff am: 14. Juni 2022).

[6]C2C im Bau: Orientierung für Kommunen, *8.1 Rückbau - C2C im Bau: Orientierung für Kommunen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://c2c-bau.org/8-1-rueckbau/> (Zugriff am: 14. Juni 2022).

[7]C2C im Bau: Orientierung für Kommunen, *3.2 Instrumente für C2C Mehrwerte in Gebäuden - C2C im Bau: Orientierung für Kommunen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://c2c-bau.org/3-grundlagen-c2c-bau/3-2-instrumente/> (Zugriff am: 13. April 2022).

- [8]„C2C im Bau: C2C in den Projektphasen“. [Online]. Verfügbar unter: https://c2c-bau.org/wp-content/uploads/2022/02/3.3_Abb8_C2C-im-Bau-C2C-in-den-Projektphasen.pdf
- [9]C2C im Bau: Orientierung für Kommunen, 7.3 *Neubau oder Bestandssanierung - C2C im Bau: Orientierung für Kommunen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://c2c-bau.org/7-bedarf-und-ziele/7-3-neubau-oder-bestand/> (Zugriff am: 13. April 2022).
- [10]A. Rosen, „Urban Mining Index“. Dissertation.
- [11]*Gebäude Rückbau | DGNB System*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dgnb-system.de/de/gebaeude/rueckbau/> (Zugriff am: 14. Juni 2022).
- [12]A. Frank, „DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Rückbau: ECO1-R Risikobewertung und Kostensicherheit“, S. 49–57. [Online]. Verfügbar unter: https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/de/gebaeude/rueckbau/kriterien/DGNB-Kriterium-Gebaeude-Rueckbau_ECO1-R_Risikobewertung_und_Kostensicherheit.pdf?m=1594385372&
- [13]Bock Abbruch-Recycling GmbH, *Bock Abbruch-Recycling Eingabemaske*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bock-abbruch.de/abbruchkalkulator/html/calculator.html> (Zugriff am: 27. September 2020).
- [14]„Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen: Gewerbeabfallverordnung - GewAbfV“, Jg. 2017, S. 1–9, 2017. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl117s0896.pdf#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl117s0896.pdf%27%5D__1655214058883
- [15]Thorsten Thörner, Sigrid Hams, Dr.-Ing. Gabriele Becker, Dr. Bärbel Birnstengel, Arno Häusler, Nadja Schütz, „Bedarfsanalyse für DK I-Deponien in Nordrhein-Westfalen: Endbericht“, Jg. 2014, S. 1–100, 2014.
- [16]AU Consult GmbH, Bayerisches Landesamt für Umwelt LfU, „Bedarfsprognose Deponien der Klasse 0, I und II in Bayern“, Jg. 2015, S. 1–38, 2015.
- [17]Iswing Dehne, Florian Knappe, Rüdiger Oertjen-Dehne, Stefanie Theis, „Abschätzung des zukünftigen Bedarfs an Deponiekapazitäten in Rheinland-Pfalz: Kurzfassung der Studie im Auftrag des Landesamtes für Umwelt Rheinland-Pfalz“, Jg. 2016, S. 1–68, 2016.
- [18]„Guide-to-sustainable-building-certifications-August-2018-e-bog“, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://build.dk/Assets/Guide-to-sustainable-building-certifications/Guide-to-sustainable-building-certifications-August-2018-e-bog.pdf>
- [19]Prof. Dr.-Ing. Markus Koschlik, „Vortrag BDB Bezirksgruppe Heidelberg: DGNB und nachhaltiges Bauen“, Jg. 2022, S. 1–84, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://media-exp1.licdn.com/dms/document/C4D1FAQHxwo3sresadg/feedshare-document-pdf-analyzed/0/1649579998054?e=2147483647&v=beta&t=_h7H3VpZZYEx5oCAg8D9Ui0qIaj3OuCHctUWzbjc82k
- [20]„DIN 276: Kosten im Bauwesen“, S. 1–56.
- [21]BKI Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH; Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, *Baukosten Gebäude + Bauelemente + Positionen Neubau 2021: Statistische Kostenkennwerte Teil 1 + Teil 2 + Teil 3*. Stuttgart: BKI, 2021.
- [22]DBD.de, *DBD.de - Dynamische BauDaten*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dbd.de/dbd-baupreise/?site=einzigartigkeit_bp (Zugriff am: 14. Juni 2022).
- [23]K. Plümecke *et al.*, *Preisermittlung für Bauarbeiten*, 28. Aufl. Köln: Rudolf Müller, 2017. [Online]. Verfügbar unter: http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783481032494

[24]H. Schmitz, E. Krings, U. J. Dahlhaus und U. Meisel, *Baukosten*, 24. Aufl. Essen: Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen, 2020.

[25]A. Heuer, *Datenbanken -- Konzepte und Sprachen*, 6. Aufl. Frechen: MITP Verlags GmbH & Co. KG, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1802873>

Recycling von Carbonabbruchmaterial

Florian Kopf¹, Jan Kortmann²

¹ TU Dresden, Institut für Baubetriebswesen, florian.kopf@tu-dresden.de

² TU Dresden, Institut für Baubetriebswesen, jan.kortmann@tu-dresden.de

Kurzfassung

Die Verwendung von Carbon als Bewehrungsmaterial im Betonbau wirft die Frage nach dem Umgang mit dieser neuen Stofffraktion am Ende der Lebensdauer der Betonbauteile auf. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Vorstellung von Forschungsvorhaben, die sich mit dem Lückenschluss zwischen dem Anfall von Carbonabbruchmaterial und dem Wiedereinsatz des Materials als Bewehrungsstruktur für neue Betonbauteile befassen.

Um den Lückenschluss umsetzen zu können, wurden die einzelnen Verfahrensschritte, die das Carbonabbruchmaterial durchlaufen muss, im Labormaßstab durchlaufen und hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit im industriellen Maßstab bewertet. Dazu gehören die Separation des Carbonabbruchs von der Betonmatrix, die Aufbereitung des separierten Materials, die textiltechnische Verarbeitung der aufbereiteten Fasern und die Herstellung von Bewehrungskonstruktionen aus dem Recyclinggarn. Mit der experimentellen Untersuchung der genannten Verfahrensschritte konnte nachgewiesen werden, dass der Lückenschluss technologisch umsetzbar ist.

Die Vorstellung der derzeit in Umsetzung befindlichen Forschungsvorhaben zeigt die aktuellen Forschungsschwerpunkte im Hinblick auf die Überführung der vorliegenden Erkenntnisse zum verfahrenstechnischen Umgang mit Carbonabbruchmaterial in die Wirtschaft auf. Darüber hinaus wird aufgezeigt, dass neben den technischen Untersuchungen, die Einbindung der Gesellschaft von wachsender Bedeutung im Umgang mit neuen Materialströmen ist. Die Schaffung eines Bewusstseins für die Getrennsammlung von hochwertigen Wertstoffen ist die Grundvoraussetzung für die technische Umsetzung des Recyclings.

Schlagwörter: Carbon, Beton, Recycling, Nachhaltigkeit, Verfahrenstechnik

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	182
1.1	Forschungsvorhaben	182
1.2	Rechtliche Grundlagen	182
2	Forschungsvorhaben C³ V-I.13	183
2.1	Ziele und Arbeitsschritte des Vorhabens	183
2.2	Umsetzung des Vorhabens	183
2.3	Ergebnisse des Vorhabens	188
3	Forschungskonsortium WIR! recyceln Fasern	188
3.1	Vorstellung des Forschungskonsortiums	188
3.2	WIR-B1 – Von der Recyclingfaser zum neuen Produkt	189
3.3	WIR-B2 – Die Recyclingfaser als vielfältiger Rohstoff	190
4	Schlussbetrachtung.....	190
5	Literaturverzeichnis	191

1 Einleitung

1.1 Forschungsvorhaben

Der folgende Beitrag schließt an die Reihe der Beiträge der Autoren Kortmann und Kopf aus den Jahren 2016 [1], 2017 [2], 2018 [3] und 2019 [4] an. Die Veröffentlichungsreihe befasst sich mit den bauverfahrenstechnischen Aspekten des Abbruchs und Recyclings von Carbonbetonbauteilen. Bis dato standen dabei die Ergebnisse des, durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ geförderten, Forschungsvorhabens C³-V1.5 „Abbruch, Rückbau und Recycling von Carbonbetonbauteilen“ im Vordergrund.

Im vorliegenden Beitrag wird der Schwerpunkt auf das Ende 2019 abgeschlossene Folgevorhaben C³ V-I.13 „Branchenübergreifender Einsatz von recycelten Carbonfasern aus C³-Bauteilen“ und die aktuell im Rahmen des vom BMBF geförderten Konsortiums WIRreFa – „Wir recyceln Fasern“ [5] laufenden Forschungsvorhaben WIR-B1 „Von der Recyclingfaser zum neuen Produkt“ und WIR-B2 „Die Recyclingfaser als vielfältiger Rohstoff“ gelegt. In den vorgenannten Verbundvorhaben war und ist das Institut für Baubetriebswesen der TU Dresden als Forschungspartner für die Bearbeitung der baubetrieblichen und bauverfahrenstechnischen Fragestellungen beteiligt. Thematisch konzentriert sich der Artikel damit auf den Umgang mit dem Recycling des im Abbruchprozess anfallenden Carbonbewehrungsmaterials. Das Ziel des Recyclings soll dabei die Kreislaufführung der Carbonbewehrung sein, um ein Downcycling des hochwertigen Werkstoffes zu verhindern.

1.2 Rechtliche Grundlagen

Die Grundlage für die Konzentration auf das Recycling von zukünftig anfallendem Carbonbewehrungsmaterial aus dem Abbruch von Gebäuden stellt das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [6] dar. Im § 6 Absatz 1 KrWG wird die Abfallhierarchie definiert, die als oberstes Ziel die Vermeidung von Abfällen vorsieht. Unmittelbar nach der Vermeidung werden die Wiederverwendung und das Recycling als anzustrebender Umgang mit Abfällen benannt und erst wenn diese Alternativen nicht möglich sind, ist die sonstige (energetische) Verwertung und die Beseitigung zulässig. Darüber hinaus findet sich im § 23 KrWG für Produzenten und Erzeuger die Verpflichtung eine Produktverantwortung zu übernehmen. Zu dieser Produktverantwortung zählt vorrangig, dass neue Produkte „ressourceneffizient, mehrfach verwendbar, technisch langlebig, reparierbar und nach Gebrauch zur ordnungsgemäßen, schadlosen und hochwertigen Verwertung [...] geeignet sind“ [6, p. § 23 Abs. 1 S. 1].

Die bisher geleistete Forschung konnte bereits nachweisen, dass der Abbruch und die Separation des Verbundbaustoffes Carbonbeton technisch umsetzbar ist und das Car-

bonnbewehrungsmaterial nahezu ohne Fremdstoffanhaftungen gewonnen werden und einer weiteren Verwertung zugeführt werden kann. [7] Aus den vorgenannten gesetzlichen Grundlagen ergibt sich die Verpflichtung geeignete Verwertungswege für das Carbonabbruchmaterial aufzuzeigen.

2 Forschungsvorhaben C³ V-I.13

2.1 Ziele und Arbeitsschritte des Vorhabens

Das übergeordnete Ziel des Forschungsvorhabens C³ V-I.13 war die Konzeption und experimentelle Untersuchung der Aufbereitung von Primär- und Sekundärabfällen aus Carbonfasermaterial, aus der Herstellungsphase von Carbonbetonbauteilen, aus der Nutzungsphase und dem Ende des Lebenszyklus von Carbonbetonbauteilen, mit der Maßgabe das aufbereitete Fasermaterial als Ausgangsprodukt für die Herstellung von recycelten Carbonfaserstrukturen (rCF-Strukturen) zur Verfügung zu stellen und weiterzuverarbeiten. Für das Forschungsvorhaben, haben sich das Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM, TU Dresden), das Institut für Baubetriebswesen (IBB, TU Dresden) und die Leichtbau-Zentrum Sachsen GmbH zu einem Forschungsverbund zusammengeschlossen.

Um das beschriebene Ziel zu erreichen, wurden die folgenden Arbeitsschritte definiert:

- Separationsarbeiten zur sortenreinen Trennung von Carbonfasern,
- Aufbereitung der Carbonfasern für weitere Prozessschritte,
- Entwicklung einer Prozesskette zur Fertigung von recycelten Carbonfasergarnen,
- Konzeption neuartiger rCF-Produkte,
- Konzeption des branchenübergreifenden Einsatzes von rCF-Produkten.

Die Arbeitsschritte haben sich in ihrer Struktur bereits sehr nah an dem angestrebten Materiallebenszyklus der Carbonbewehrung orientiert und wurden daher aufeinander aufbauend bearbeitet. Der Vorteil dieser Vorgehensweise lag darin, dass die in den einzelnen Arbeitsschritten experimentell untersuchten Carbonfasern tatsächlich alle Prozessschritte durchlaufen. So konnte sichergestellt werden, dass die Ergebnisse tatsächlich auf den realen Stoffstrom von Carbonfasern aus Abbruchmaterial übertragen werden können und nicht durch die Verwendung von Neufasern oder Fasern aus anderen Stoffströmen verfälscht werden.

2.2 Umsetzung des Vorhabens

2.2.1 Separation von Carbonfasern

Im ersten Schritt wurde die Separierung der Carbonfasern aus dem heterogenen Carbonbetonabbruchmaterial untersucht. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand da-

bei der Validierung der Ergebnisse des Vorhabens C³-V1.5 [4] [8]. Im Rahmen der Validierung konnte bestätigt werden, dass der Einsatz einer kamerabasierten Sortierung die mit Abstand beste Separationsquote erzielt.

2.2.2 Aufbereitung von Carbonfasern

Für die Aufbereitung von Carbonfasern für die weitere textiltechnische Verarbeitung stehen mit der Pyrolyse und der Solvolyse grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren am Markt zur Verfügung. Die Pyrolyse ist ein Verfahren, das in der Abfallaufbereitung für die Separation von kunststoffbeschichteten Metallen und ähnlichen Mischwerkstoffen zum Einsatz kommt. Dabei werden Temperaturen zwischen 450 °C und 550 °C genutzt, um langkettige Kohlenwasserstoffe thermisch zu zersetzen. Da die Arbeitstemperatur unterhalb der Zersetzungstemperatur von Carbonfasern (> 600 °C) liegt, eignet sich das Verfahren dazu die Schlichte (Kunststofftränkung) von den Carbonfasern zu trennen und die Carbonfasern damit wieder in ihren Ausgangszustand zu versetzen. Trotz der deutlichen Temperaturdifferenz besteht bei der Pyrolyse ein Risiko für die Schädigung der behandelten Carbonfasern, beispielsweise durch eine Querschnittsschwächung. Diesem Risiko steht der Vorteil gegenüber, dass die technischen Anforderungen an die Durchführung der Pyrolyse gering sind.

Die Solvolyse nutzt einen Reaktor mit überkritischem Wasser mit Temperaturen zwischen 200 °C – 400 °C zur Lösung von Kunststoffen. Um die erforderliche Reaktionsumgebung herzustellen ist ein Reaktor erforderlich, in dem durch die Erzeugung eines Vakuums Drücke von mehreren 100 bar entstehen können. Der Vorteil der Solvolyse besteht darin, dass, die im Vergleich zur Pyrolyse deutlich niedrigeren Temperaturen, eine Beschädigung der Carbonfasern durch die Temperatureinwirkung nahezu vollständig ausgeschlossen werden kann. Demgegenüber stehen die sehr anspruchsvollen verfahrenstechnischen Randbedingungen für die Solvolyse.

Aufgrund der Etablierung der Pyrolyse am Markt und der Möglichkeit das Verfahren im Rahmen des Forschungsvorhabens anzuwenden, wurde die Pyrolyse als Aufbereitungsverfahren für die Behandlung der Carbonfaserabbruchmaterialien gewählt. Das Carbonfasermaterial wurde im Rahmen einer Versuchsreihe unter der Variierung der Temperatur und Verweildauer im Ofen hinsichtlich der Reaktion auf die Pyrolyse untersucht.



Abb. 2-1: Carbonfasern vor und nach der Pyrolyse bei 550°C (ITM, TU Dresden)

Mit den Versuchen zur Aufbereitung konnte ermittelt werden, dass für das eingesetzte Bewehrungsmaterial die optimale Faservereinzelung bei einer Beaufschlagung mit 550 °C erreicht werden konnte. Bei der Untersuchung der Faserfestigkeiten nach der Aufbereitung, konnten bereits erste Faserschädigungen nachgewiesen werden, so dass die aufbereiteten Fasern, welche die Anforderungen für die textiltechnische Weiterverarbeitung erfüllt haben, eine durchschnittliche Zugfestigkeitsreduktion von ca. 24 % aufwiesen.

2.2.3 Prozesskette zur Fertigung von recycelten Carbonfasergarnen

Aufgrund der Erfahrungen der textiltechnischen Verarbeitung von Hochleistungstextilien, wie Carbon, hat das ITM die Prozesskette von der Verarbeitung der Einzelfaser bis zu einer Garnkonstruktion an die Eigenschaften der aufbereiteten Carbonfasern angepasst und im experimentellen Maßstab umgesetzt.

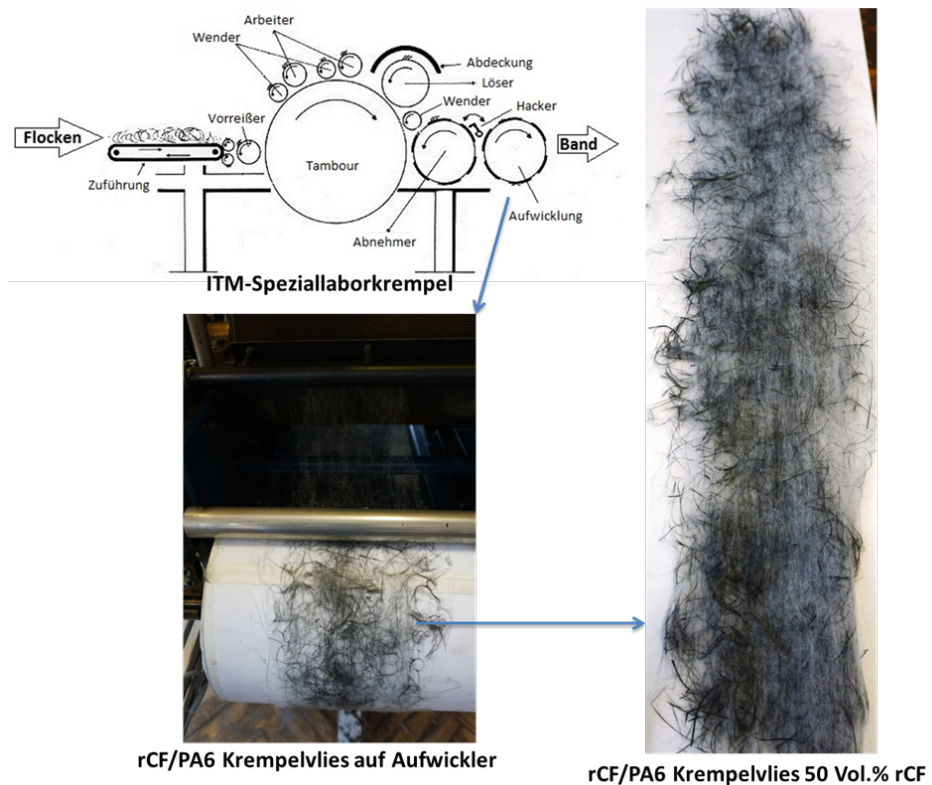


Abb. 2-2: Schematische Darstellung einer Krempelmaschine und Krempelflies aus Carbon-/PA 6-Fasergemisch (ITM, TU Dresden)

Im ersten Prozessschritt wurde eine Vermischung der aufbereiteten Carbonfasern mit PA 6-Fasern (Polyamid-Fasern, thermoplastischer Kunststoff) vorgenommen. Dieser erste Schritt war erforderlich, um den Eigenschaften der aufbereiteten Carbonfasern

(hohe Zugfestigkeit, aber sprödes Verhalten bei Querkraftbeanspruchung) entgegenzuwirken. Die weitere Verarbeitung reiner Carbonfasern barg das Risiko des Brechens der Fasern, damit der Verkürzung der Faserlänge und im Endeffekt dem Ausschuss einer maßgeblichen Fraktion der Ausgangsmenge. Versuche zur Längsausrichtung des Faser-gemisches mit verschiedenen hohen Anteilen an beigemischten PA 6-Fasern zeigten einen Faserverlust von 17 % bzw. 24 % für rCF-Anteile von 50 Vol. % bzw. 64 Vol. %. Da durch die Ausrichtung der Fasern in einer Krempelmaschine immer mit einem gewissen Faserverlust aufgrund der mechanischen Beanspruchung gerechnet werden muss, wurde ein Mischungsverhältnis von 1:1 für die Carbon- und PA 6-Fasern festgelegt.

Im Ergebnis des zweiten Prozessschrittes lag ein Krempelflies aus Carbon- und Polyamid-Fasern vor (vgl. Abb. 2-2: Schematische Darstellung einer Krempelmaschine und Krempelflies aus Carbon-/PA 6-Fasergemisch (ITM, TU Dresden)³). Im Anschluss an die Herstellung des Krempelbandes wurde ein Streckenband hergestellt, indem mehrere Lagen Krempelflies übereinandergelegt, über eine Reihe von Rollen gestreckt und mittels Druck und Verdrehen ein Faserband mit einer höheren Faserdichte, als ein einzelnes Krempelband, hergestellt wurde (vgl. Abb. 2-3: Streckbandherstellung aus pyrolysierten rCF aus Betonabbrüchen und PA 6 (ITM, TU Dresden)).

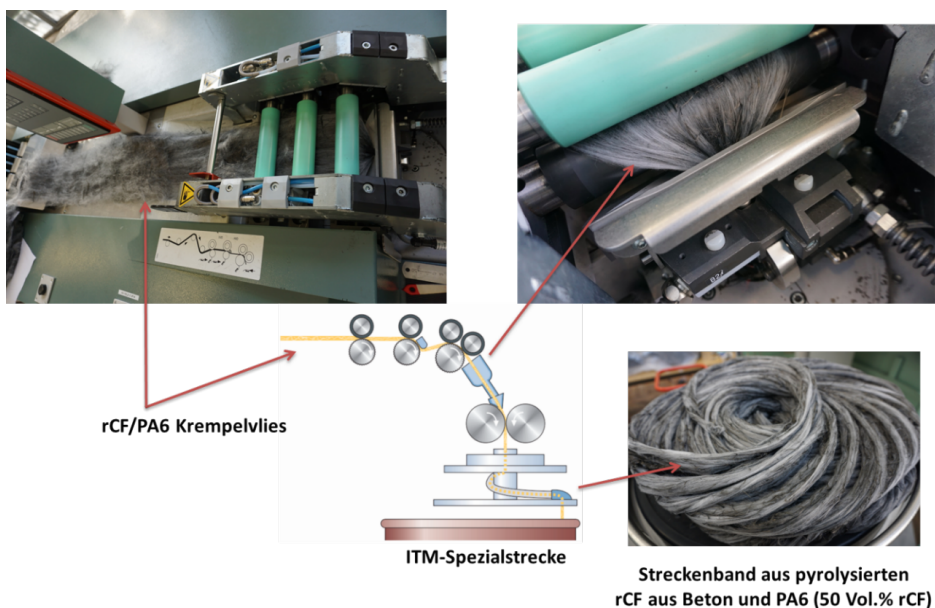


Abb. 2-3: Streckbandherstellung aus pyrolysierten rCF aus Betonabbrüchen und PA 6 (ITM, TU Dresden)

Im letzten Schritt, wurde das Streckband mit Hilfe einer Friktionsspinnmaschine zu einem rCF-Hybridgarn gesponnen.

2.2.4 Konzeption neuartiger rCF-Produkte

Das Primärziel bei der Konzeption neuartiger rCF-Produkte lag auf der Herstellung von Carbonbewehrungsstrukturen, um die aus dem Abbruchmaterial gewonnene Carbon-

bewehrung wieder in die ursprüngliche Nutzung zurückzuführen. Zu diesem Zweck wurde das hergestellte rCF-Garn auf einem Spannrahmen als biaxiales Gelege aufgebracht.

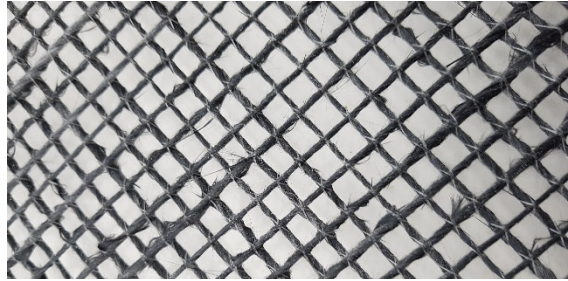


Abb. 2-4: Biaxiales Gelege aus rCF-Garn (ITM, TU Dresden)

Die Herstellung des Geleges hat die technische Umsetzbarkeit der Bewehrungsherstellung aus rCF prinzipiell nachgewiesen. Wie in Abb. 2-4: Biaxiales Gelege aus rCF-Garn (ITM, TU Dresden) gut erkennbar ist, gibt es bei der Verarbeitung der Carbonfasern mit der dargestellten Prozesskette noch Optimierungspotenzial. Dabei liegt das Optimierungspotenzial nicht allein in der Weiterentwicklung und Anpassung der Maschinen für die textiltechnische Verarbeitung. Das Durchlaufen der Prozesskette hat deutlich aufgezeigt, dass die Eigenschaften des gewonnenen Abbruchmaterials, insbesondere hinsichtlich der Faserlänge und der Reinheit, einen wesentlichen Einfluss auf die Verarbeitung haben. Mit dem gleichen Verfahren konnten, bei der Verwendung von Produktionsresten bereits rCF-Hybridgarne mit mittleren Verbundzugfestigkeiten von 1.100 N/mm^2 erzielt werden. [9]

2.2.5 Konzeption des branchenübergreifenden Einsatzes von rCF-Produkten

Eine Marktrecherche, die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass es bisher noch keine kommerzielle Bezugsquelle für aufgespulte, recycelte Carbonfasergarne gibt. Dementsprechend basieren Produkte aus recycelten Carbonfasern in anderen Branchen auf aufbereiteten Carbonfasern in Form von Pulver, Schnittresten, Vlies oder Kunststoffgranulat. Der unmittelbare Ersatz von bereits zur Anwendung kommenden Bauteilen aus recycelten Carbonfasern konnte damit früh ausgeschlossen werden.

Um sich der Frage der Nutzung des hergestellten rCF-Garns in Branchen außerhalb des Bauwesens zu nähern, wurde ein DU-Element (unidirektionales plattenförmiges Bauteil) aus dem rCF-Garn hergestellt und die mechanischen Eigenschaften des Elementes bestimmt. Die gewonnenen Materialkennwerte konnten mit Daten zu typischen Faser-verbundbauteilen aus baufremden Branchen verglichen werden.

Im Ergebnis der Untersuchung wurde die Simulation für ein Verkleidungsbauteil eines Schienenfahrzeuges durchgeführt. Das in Abb. 2-5: Verformungsanalyse a) unter Innendruck, b) unter Außendruck (je 1200 Pa) dargestellte Bauteil ist eine Seitenklap-

pe, die als Verkleidung des Fahrweges von Zügen unterhalb der Fahrgastkabine angebracht ist. Die Bauteile sind vorwiegend durch dynamische Einwirkungen durch Innen- und Außendruckschwankungen belastet. Durch das Ergebnis der Analyse konnte die Eignung des rCF-Materials für den gewählten Anwendungsfall bestätigt werden. Darüber hinaus war das Gewicht des Bauteils aus rCF-Material deutlich geringer als das des Originalbauteils aus GFK, womit die Verwendung des Recyclingmaterials nicht nur als Ersatz von Primärmaterial dient, sondern sogar Optimierungspotenziale bieten kann.

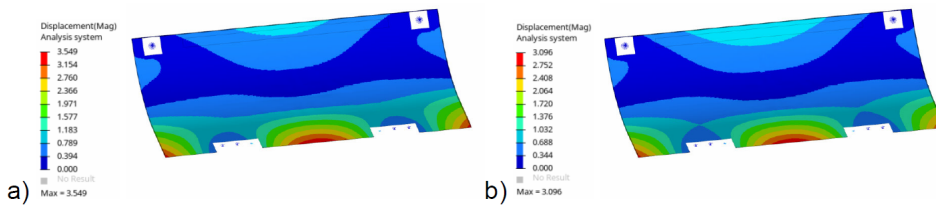


Abb. 2-5: Verformungsanalyse a) unter Innendruck, b) unter Außendruck (je 1200 Pa)

2.3 Ergebnisse des Vorhabens

Im Forschungsvorhaben C³-VI.13 ist es den beteiligten Forschungsinstitutionen gelungen den Lückenschluss zwischen dem Abbruch von Carbonbetonbauteilen und dem Wiedereinsatz von recycelten Carbonfasern im Labormaßstab aufzuzeigen. Dabei wurden in den Einzelschritten noch Herausforderungen und Aufgaben zur Weiterentwicklung und zur Übertragung der Prozessschritte in den industriellen Maßstab aufgezeigt. Dazu gehören beispielsweise die Einführung der kamerabasierten Sortierung im Betonrecycling, das schonende Abbrechen und Lösen der Carbonfasern aus der Betonmatrix, die Errichtung von Pyrolyseanlagen zur Aufbereitung von Carbonabbruchmaterial, die Weiterentwicklung der Textilmaschinen zur schonenderen Verarbeitung der rCF-Produkte und die Erschließung von Anwendungsmöglichkeiten in baufremden Branchen.

3 Forschungskonsortium WIR! recyceln Fasern

3.1 Vorstellung des Forschungskonsortiums

Das, durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Initiative „WIR! – Wandel durch Innovation in der Region“ geförderte, Konsortium „WIR! recyceln Fasern“ ist ein Zusammenschluss von Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus der Region Elbtal Sachsen. Derzeit besteht das Bündnis aus über 40 Partnern, mit mehr als 80 weiteren Partnern laufen Verhandlungen über den Bündnisbeitritt. Das verbindende Element aller Partner ist dabei die Expertise rund um den Stoffkreislauf von Faserverbundwerkstoffen, von der Herstellung über die Verarbeitung und Nutzung bis hin zur Verwertung der Materialien.

Das Hauptziel des Forschungskonsortiums ist die Etablierung der Kreislaufführung von Faserverbundwerkstoffen und der Ausbau der Region Elbtal Sachsen zum Vorreiter auf dem Gebiet der Aufbereitung und Wiederverwendung von Carbonfasern. Das Vorgehen des Konsortiums ist dabei in 5 Teilziele gegliedert:

- Vernetzung der regionalen Institutionen mit Bezug zur zirkulären Wertschöpfungskette von Faserverbundwerkstoffen,
- Planung konkreter zirkulärer Wertschöpfungsketten in der Region bis 2023,
- Umsetzung erster zirkulärer Wertschöpfungsketten und Aufbau von Arbeitsplätzen bis 2025,
- Schaffung gesellschaftlicher Akzeptanz und Aufmerksamkeit für die zirkuläre Wertschöpfung mit Faserverbundwerkstoffen,
- Schaffung von Forschungs- und Entwicklungsimpulsen und öffentlichkeitswirksame Vermittlung der Erkenntnisse.

Um den Start des Konsortiums zu unterstützen, wurden bereits in der Konzeptphase des Bündnisses „Starterprojekte“ definiert, die Grundlagen für die genannten Ziele legen sollen. Erst im zweiten Schritt ist geplant, dass sich Bündnispartner im Rahmen von Verbundvorhaben oder Innovationsvorhaben um die Bearbeitung einzelnen Forschungsfragen bewerben. In zwei Starterprojekten wirkt das Institut für Baubetriebswesen der TU Dresden als Verbundpartner mit. Diese beiden Vorhaben, mit dem geplanten Start im Mai 2022, werden im Folgenden vorgestellt.

3.2 WIR-B1 – Von der Recyclingfaser zum neuen Produkt

Das Starterprojekt WIR-B1 beschäftigt sich im Kern mit der Entwicklung von Anforderungsprofilen, für recycelte Fasern, der Aufbereitung von Carbonfasern sowie deren Weiterverarbeitung. Für die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung hat sich ein Forschungsverbund aus dem Institut für Massivbau (IMB, TU Dresden), dem Institut für Baubetriebswesen (IBB, TU Dresden), der CARBOCON GmbH und dem assoziierten Partner John & Groß GmbH gebildet.

Der Forschungsverbund hat sich die Erreichung von fünf konkreten Zielen vorgenommen, deren Erreichung wesentlich zur Bewältigung der beschriebenen Herausforderungen ist:

- Ziel 1 – Anforderungsprofil: Erstellung eines Anforderungsprofils für recycelte Fasern und deren Weiterverarbeitung bzw. Aufbereitung.
- Ziel 2 – Prozesskette: Erarbeiten einer Prozesskette zur Fertigung von garnbasierten Produkten wie zum Beispiel Carbonstäbe oder Carbongelege.
- Ziel 3 – Produktkonzept: Konzeption neuartiger Recyclingprodukte für technische Anwendungen.
- Ziel 4 – Entwicklung und Erprobung: Grundlegende Entwicklung von Bewehrungen aus recycelten Fasern für den Einsatz im Bauwesen und Erprobung von Prototypen.

- Ziel 5 – Einsatzkonzept: Einsatz der recycelten Fasern in branchenübergreifenden Bereichen.

Geplant ist die Erreichung der genannten Ziele im Rahmen der 12-monatigen Projektlaufzeit. Dabei muss die Erreichung der Ziele nicht zwangsläufig mit dem endgültigen Abschluss der behandelten Problemstellungen korrelieren. Vielmehr soll das Starterprojekt dazu dienen konkrete Forschungslücken und Forschungsansätze für die zielgerichtete Bearbeitung in anschließenden Folgevorhaben aufzuzeigen.

3.3 WIR-B2 – Die Recyclingfaser als vielfältiger Rohstoff

Im Starterprojekt WIR-B2 konzentriert sich der Forschungsverbund, bestehend aus dem Institut für Abfall und Kreislaufwirtschaft (IAK, TU Dresden), dem Institut für Baubetriebswesen (IBB, TU Dresden) und der Nestler GmbH, vor allem auf die Kreislaufführung von Faserverbundmaterialien. Dazu wird der Fokus vor allem auf bereits anfallende faserhaltige Abfälle und deren Verwertung mit dem Ziel der Substitution von Primärfasern gelegt. Die branchenoffene Durchführung des Vorhabens soll dazu beitragen Potenziale für branchenübergreifende Materialströme aufzudecken.

Der Forschungsverbund hat sich dazu 3 konkrete Ziele vorgenommen:

- Ziel 1 – Abfallwirtschaftliche Charakterisierung des Gebietes: Netzwerk- und Stakeholderanalyse zur Bestimmung und Zusammenführung relevanter Akteure der Abfall- und Kreislaufwirtschaft.
- Ziel 2 – Strategischer Ansatz für das Recycling und den Einsatz von recycelten Fasern (insbesondere Carbonfasern): Analyse vorhandener Kreislaufbrüche und Ausarbeitung von Strategiekonzepten zum Umgang mit faserhaltigen Abfällen im Rahmen von Recycling und Wiederverwendung.
- Ziel 3 – Aufzeigen von Hemmnissen und Chancen: Handlungsempfehlungen zum zielgerichteten Umgang im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit und zur Senkung von Markteintrittsbarrieren.

Vergleichbar zum Vorhaben WIR-B1, ist auch im Vorhaben WIR-B2 eine 12-monatige Projektlaufzeit vorgesehen, im Verlaufe derer die Zielerreichung sowie die Benennung von Forschungslücken und -ansätzen für folgende Verbundvorhaben umgesetzt werden soll.

4 Schlussbetrachtung

Das durchgeführte Forschungsvorhaben C³-VI.13 hat aufgezeigt, dass die verfahrenstechnische Umsetzung des Lückenschlusses zwischen dem Abbruch von Carbonbewehrungsmaterial und dem erneuten Einsatz der Carbonfasern als rCF-Bewehrungskonstruktionen möglich ist. Bei der Analyse der einzelnen Verfahrensschritte haben sich Bedarfe zur technischen Weiterentwicklung von Verfahren der Aufbereitung, der textiltechnischen Verarbeitung von aufbereiteten Carbonfasern und der Herstellung von

rCF-Garnen und rCF-Garnkonstruktionen gezeigt. Darüber hinaus wurde deutlich, dass die Transformation der im Labormaßstab durchgeführten Prozessschritte in den industriellen Maßstab eine zu lösende Herausforderung für die Zukunft darstellt. Anhand der Ergebnisse wurde deutlich, dass maßgeblicher Forschungs- und Innovationsbedarf an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Industrie besteht, um die praktische Umsetzung der erlangten Erkenntnisse sicherzustellen.

Mit den aktuell angestoßenen Forschungsvorhaben im Rahmen des Forschungskonsortiums „WIR recyceln Fasern“ werden genau diese Schnittstellenthemen fokussiert. Die Forschung konzentriert sich darauf klare Anforderungen an recycelte Fasermaterialien zu definieren und deren Einsatzmöglichkeiten in verschiedenen Branchen zu analysieren. Darüber hinaus legen die Vorhaben den Fokus auf die Einbindung der Gesellschaft in das Thema „Recycling von Faserverbundwerkstoffen“, um durch das Bewusstsein für hochwertige Wertstoffe und die Organisation des Materialstroms die technische Umsetzung der Kreislaufführung überhaupt erst zu ermöglichen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] J. Kortmann und F. Kopf, „Recyclingfähigkeit von Carbonbeton - Ist-Stand im Forschungsprojekt „Zwanzig20 - C3 Carbon Concrete Composite - Verbundvorhaben 1.5“,“ in *Tagungsband zum 17. BBB-Assistententreffen, Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauverfahrenstechnik*, Dresden, 2016.
- [2] F. Kopf, N. Bienkowski und J. Kortmann, „Abbruch, Rückbau und Recycling von C³-Bauteilen - Aktueller Stand im Forschungsprojekt,“ in *Tagungsband zum 28. BBB-Assistententreffen, Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauverfahrenstechnik*, Kaiserlautern, 2017.
- [3] F. Kopf und J. Kortmann, „Großtechnische Umsetzung von Abbruch-, Rückbau- und Recyclingversuchen an Carbonbetonbauteilen,“ in *Tagungsband zum 29. BBB-Assistententreffen - Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Bauwirtschaft | Baubetrieb | Bauverfahrenstechnik*, Braunschweig, 2018.
- [4] F. Kopf und J. Kortmann, „Aufbereitung von Carbonbetonabbruchmaterial,“ in *Tagungsband zum 30. BBB-Assistententreffen - Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Bauwirtschaft | Baubetrieb | Bauverfahrenstechnik*, Karlsruhe, 2019.
- [5] C³ - Carbon Concrete Composite e. V., „WIR! recyceln Fasern,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.wir-recyceln-fasern.de/>. [Zugriff am 01.04.2022].
- [6] *Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) vom 24.02.2012 i. d. F. vom 09.12.2020.*
- [7] J. Kortmann, *Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Recyclingfähigkeit von Carbonbeton*, Dresden: Springer Vieweg, 2020.
- [8] J. Kortmann, W. Seifert, M. Lieboldt, F. Kopf, P. Jehle und M. Curbach, „Carbonbeton - Ein Beitrag zur Ressourceneffizienz im Betonbau,“ in *Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz (NAREKS) - Konstruktive Lösungen für das Planen und Bauen*, Berlin, Ernst & Sohn, 2021, pp. 168-177.
- [9] M. Hengstermann, G. Bardl, H. Rao, A. Abdkader, M. M. Hasan und C. Cherif, „Development of a Method for Characterization of the Fi-bre Length of Long Staple Carbon Fibres Based on Image Analysis,“ *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Bd. Jahrgang 24, Nr. Heft 4, pp. 39-44, 2016.

Mehr als ein 3D-Bild – Tunnel Information Modeling (TIM) Die Informationen hinter dem Bild

Ines M. Massimo-Kaiser¹

¹ Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften / Arbeitsbereich Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau (iBT) ines.massimo@uibk.ac.at

Kurzfassung

Damit aus einem Baustellen-Wimmelbild die vollständige digitale Simulation eines Tunnelbaus wird, benötigt es neben digitalen Ressourcen einheitliche Strukturen. Das Generieren eines „Digitalen Zwillings“ ist neben der 3D-Darstellung des Tunnels vergleichbar mit einem Stammbaum des Tunnelbauwerks, oder auch mit einem Archiv, in dem gefunden wird, und nicht gesucht werden muss. Das Finden einer abgestimmten allgemein gültigen Projektstruktur beschäftigt zurzeit öffentliche Auftraggeber, Planungsbüros, Baufirmen, Softwareentwickler und Universitäten.

Schlagwörter: Tunnel Information Modeling, 3D-Modell

Inhaltsverzeichnis

1	TIM – Die Informationen hinter dem Bild	198
2	Literatur- und Quellenverzeichnis	204

1 TIM – Die Informationen hinter dem Bild

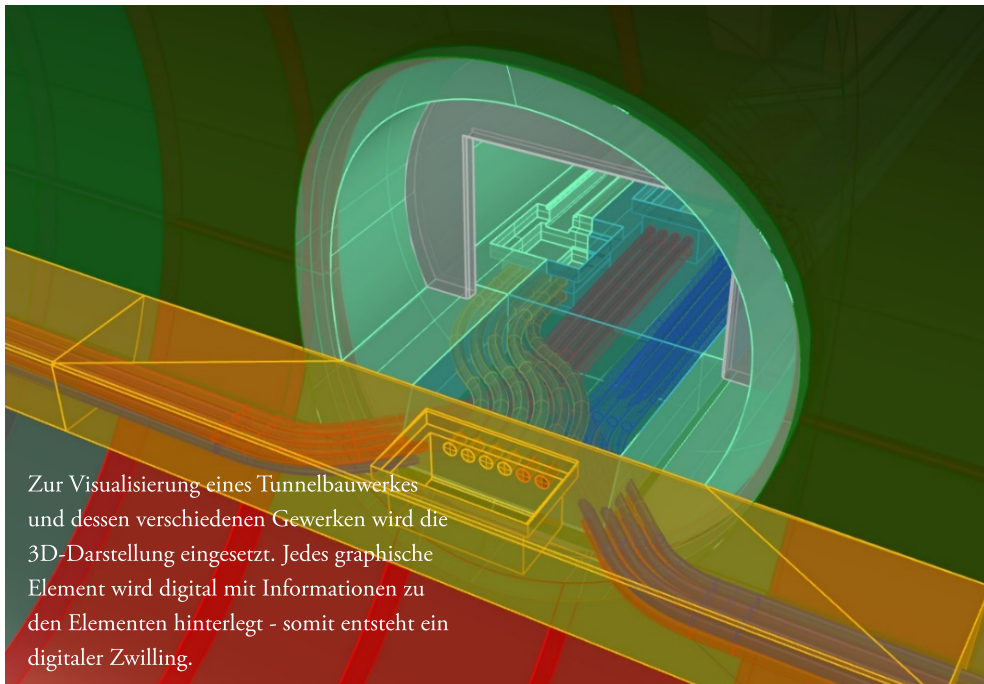


Abb. 1-1: Neubau Bözbergtunnel 3D Modell Einmündungsbereich Querverbindung zu Doppelspurtunnel [1]

Wie schon Heinz Ehrbar feststellte: Building Information Modeling (BIM) - auf Deutsch: Bauwerksdatenmodellierung - basiert auf dem Grundprinzip „zuerst virtuell, dann real bauen“ [2].

Unter BIM wird eine auf digitalen Modellen basierende Methode zur kooperativen Planung, Realisierung und Bewirtschaftung von Bauwerken verstanden. Dabei handelt es sich – einfach gesagt – um ein digitales 3D-Bild, dessen Volumenkörper mit Informationen ausgestattet sind. Mit einem Klick auf das Element, werden verschiedenste Eigenschaften angezeigt. Das Forschungsgebiet TIM (Tunnel Information Modeling), als Teilbereich von BIM, untersucht und behandelt die speziellen Anforderungen an BIM für den Tunnel- und Infrastrukturbereich.

BIM kann ein gutes Hilfsmittel sein, um ein Bauwerk über den gesamten „Lebenszyklus“ zu dokumentieren und abzubilden, somit kann die Planung, der Bau, die Instandhaltung und der Betrieb digital unterstützt werden.

Der BIM-Gedanke wird geprägt von dem Ziel der Vernetzung aller Projektbeteiligten. Umfasst also unter anderem Bauherren, Planer, Baufirmen, Behörden und Dienstleister. Das Ziel ist eine gemeinsame – kollaborative – Bearbeitung und Betreuung von Bauprojekten und nach deren Abschluss deren Betrieb (common planing – common responsibility). Damit das funktionieren kann, ist es notwendig, dass allen jederzeit die

aktuellen Informationen (Planungsstände, Behördenbescheide, Wartungsbücher etc.) zur Verfügung stehen.

Jeder der schon einmal eine Wohnungseinrichtung geplant hat, oder planen hat lassen, kennt die schönen 3D-Abbildungen der zukünftigen Küche, in der alles verschiebbar ist, wie man es möchte. Die angebotenen Bauteile weisen Maße und Farben je nach Wunsch auf und am Ende der Planung gibt es eine Übersichtsliste der gewünschten Möbel und Ausführungen und einen Preis dazu. Im Idealfall funktioniert das. Komplizierter werden dann gerne Ergänzung der Details wie Farbwünsche außerhalb der angebotenen Farbscala, Griffe einer anderen Linie etc. Wenn dann auch noch die Wünsche und Vorstellungen weiterer Personen mitberücksichtigt werden sollen, und das über mehrere Planungstermine hinweg, ist die Übersicht zu behalten für alle Beteiligten meistens schwer. Und das betrifft erst die Planung. Übertragen auf ein Infrastrukturprojekt kann zum Vergleich das Beispiel einer Tunnelentwässerung herangezogen werden. So erfolgt die Planung der Position der Schächte, der Schachtringe und deren Abdeckungen, die zu verwendenden Leitungsrohre mit Durchmessern, Stärken, Abständen, Rohrlängen und Neigungen und Ausleitung der Wässer lange bevor der Tunnel gebaut wird. Ändern sich im Ablauf der weiteren Planung unter Einfluss neuer Erkenntnisse oder neuer Vorgaben einzelne Schachtpositionen, darf die Übersicht zu den nun auch unter Anderem geänderten notwendigen Rohrlängen, veränderten notwendigen Neigungen und anderen Anschlussstücken nicht verloren gehen!



Abb. 1-2: Darstellung des Lebenszyklus eines Bauwerks [3]

Infrastrukturbauwerke entstehen mit vielen Planungsschritten und Projektbeteiligten, mit den unterschiedlichsten Aufgabenbereichen, welche miteinander verwoben werden müssen, um das Bauwerk zu realisieren.

Um daraus eben kein Wimmelbild zu machen, in dem alles vorhanden aber wenig zu finden ist, benötigt es Struktur.

BIM - Modelle werden vor der Realisierung des Projekts erstellt. Im Hochbau funktioniert das schon sehr gut, auch weil die verwendeten Puzzelteile um ein Haus digital zu bauen bereits definiert und in den verschiedensten Softwarelösungen abrufbar sind. Vergleichbar mit den Auswahlmöglichkeiten der Schriftart und Schriftgröße in Textverarbeitungsprogrammen.



Abb. 1-3: „Wimmelbuch „Semmering-Basistunnel“ [4]



Abb. 1-4: BIM Planungs-Modell London Blackfriars station (© Autodesk, Network Rail and Jacobs) [5]

Der Untertagebau ist im Vergleich zum Hochbau aus nachfolgenden Gründen speziell, und wird daher in einem eigenen Fachbereich TIM (Tunnel Information Modeling) behandelt:

- Untertagebauprojekte bestehen üblicherweise aus einer Kombination langer, linearer Bauwerke (Tunnel, Stollen, Schächte) mit Bauabschnitten komplexer Geometrien (Kavernen, Aufweitungen, Verzweigungen).

- Untertagebauten werden in und mit einem Umfeld = Baugrund gebaut, das trotz aller Vorausuntersuchungen bezüglich seiner Festigkeits- und Verformungseigenschaften kaum je vollständig bekannt ist.

TIM - Modelle enthalten geometrische Informationen um räumliche Ausmaße und Massen beschreiben zu können. Dazu sind aber auch beschreibende Daten zu einzelnen Bauteilen wie Materialeigenschaften, Kosten oder Lieferzeiten integriert. Die Bauwerks-umgebung und der Baugrund werden ebenso im Detail mit Attributen beschrieben. Als Ergebnis können alle vorhandenen Informationen in einem einzigen Datenmodell gesammelt werden.

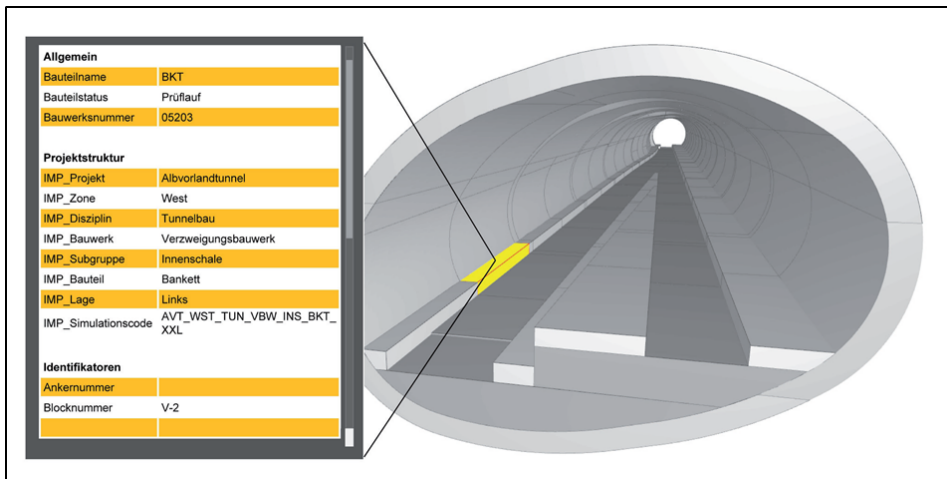


Abb. 1-5: Beispiel einer Attributierung eines Objektes im Modell [6]

Somit arbeiten alle planenden, bauenden und später betreibenden Projektteams in einem stets aktuellen Modell. Um spezielle Fragestellungen, wie zum Beispiel die Themen Umwelt, Wasser, Baugrund, Schattenwurf oder Beeinflussung bestehender Bauwerke und Leitungstrassen durch die Bauarbeiten im Detail zu behandeln, erfolgt die Erstellung von Fachmodellen, welche wiederum ein Ganzes ergeben sollen.

Mit dieser modellbasierten Planung besteht auch die Möglichkeit Bauprozesse effektiver zu planen und zu begleiten, die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten und somit die Qualität des Bauprojektes zu verbessern. Durch die Möglichkeit jederzeit auf aktuelle Planungsgrundlagen zurückgreifen zu können, werden Bauvorhaben insgesamt transparenter und nachvollziehbarer, und können auch fachfremden Personen leichter erklärt werden.

Um diesen idealen Projektablauf und das Ziel der erfolgreichen Bau-(Ablauf)-Simulation eines Tunnelbauwerkes mit all seinen Gewerken zu realisieren, benötigt es abgestimmte Strukturen und Datenformate, um den Datenaustausch in konstanter Qualität zu ermöglichen. Alleine für die Modellierung des Baugrundes in dem der Tunnel vorgetrieben werden soll, sind eine Unmenge an Normen und Gesetzen zu berücksichtigen.

Damit das Modell dann auch die interdisziplinär erarbeitete Prognose von Geologen und Geotechnikern, oder später die tatsächlich angetroffenen Verhältnisse darstellt, benötigt es von Beginn an klare Vorgaben, wie welche Information in der gemeinsamen Datenumgebung (CDE - Common Data Environment) eingetragen wird. Dies gilt genauso für alle andern Fachmodelle.

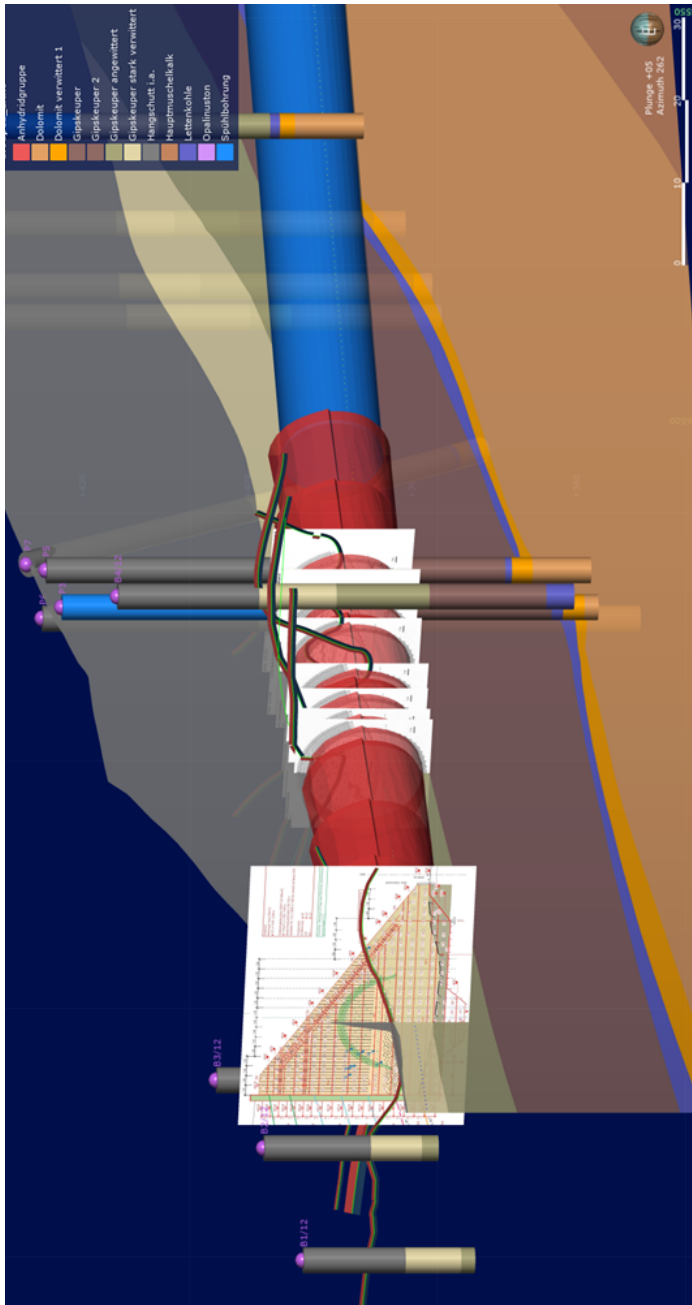


Abb. 1-6: 3-D Baugrundmodellierung mit fortlaufendem Erkenntnisgewinn, Beispiel 2. Röhre Bözberg Eisenbahntunnel [7]

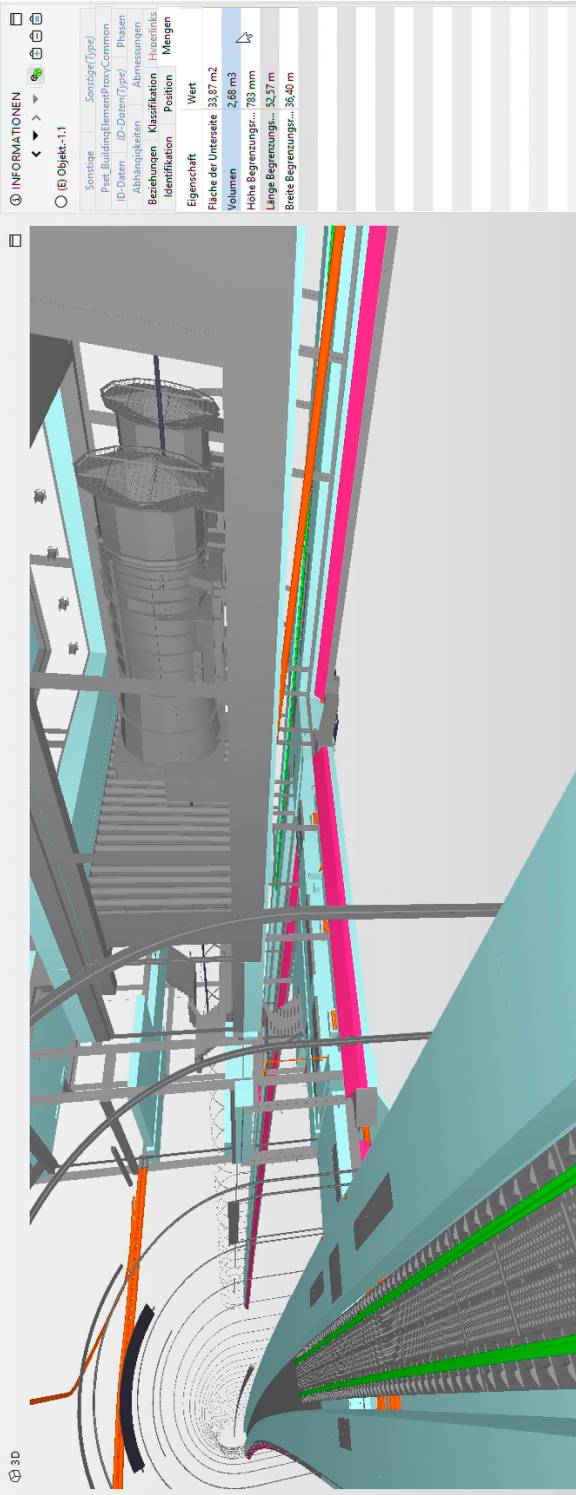


Abb. 1-7: Planungs-Modell eines Eisenbahntunnels und Lüftergebäudes [8]

Die bereits laufenden Pilotprojekte in Österreich, Deutschland und der Schweiz (DACH-Raum) zur Anwendung von BIM und TIM in der Planung und Ausführung zeigen durchwegs ernste Problemstellen und Schwierigkeiten auf. Mit „learning by doing“ zeigen sich aber auch schon viele Lösungen und Lösungsversuche, um den Weg zu einer gemeinsamen Projektabwicklung zu ebnen und Schnittstellenprobleme zu minimieren.

Die Erarbeitung des „digitalen Zwillings“ um eine virtuelle Simulation der Bauarbeiten, und somit auch höhere Planungssicherheiten und präzisere Kostenschätzungen zu ermöglichen, hängt von diesen Weiterentwicklungen ab.

Das Ziel „common planing – common responsibility“ ist in der heutigen Wettbewerbs-gesellschaft noch weit entfernt, der notwendige Paradigmenwechsel in der Branche noch ausständig.

Letztlich wird sich die erfolgreiche Umsetzung von TIM im Infrastrukturbau sowie das Erstellen und Pflegen des „digitalen Zwillings“ in naher Zukunft an harmonisierter Zusammenarbeit entscheiden. Nur mit gemeinsam verwendbaren Standards und daraus entstehenden Vorteilen für alle Beteiligten u. A. hinsichtlich transparenter Kosten – und Ressourcenplanung, Projektkommunikation, Öffentlichkeitsarbeit, kann der BIM-Gedanke umgesetzt werden und Wirtschaftlichkeit erzielt werden.

2 Literatur- und Quellenverzeichnis

[1]Amberg Engineering, Neubau Bözbergtunnel (2) – Projektierung und Innovationen unter komplexen Randbedingungen. [Online]. Verfügbar unter: <https://ambergengineering.com/de/news-events/detail-new/news/new-boezberg-tunnel-2-project-planning-and-innovations-under-complex-constraints/> (Zugriff am: 5. Mai 2022).

[2]H. Ehrbar, S. Franz, T. Weiner, W. Fentzloff und S. Frodl, „Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – DAUB-Empfehlung zu BIM im Untertagebau“, *Geomechanics and Tunnelling*, Jg. 13, Nr. 2, S. 147–162, 2020, doi: 10.1002/geot.201900080.

[3]BIM2B Ingenieurgesellschaft mbH, BIM Consulting - BIM2B Ingenieurgesellschaft mbH. [Online]. Verfügbar unter: <https://bim2b.de/consulting/> (Zugriff am: 5. Mai 2022).

[4]ÖBB-Infrastruktur AG, Printprodukte Semmering-Basistunnel. [Online]. Verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/bahnstrecken/suedstrecke-wien-villach/semmering-basistunnel/rund-um-den-bau/printproduktionen-sbt> (Zugriff am: 5. Mai 2022).

[5]Autodesk, Autodesk Hong Kong BIM Awards 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.autodesk.com/hk/hkbimawards/2016> (Zugriff am: 5. Mai 2022).

[6]Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. - DAUB-Arbeitskreis, „Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten BIM im Untertagebau (2019)“.

[7]Amberg Engineering, BIM 3D-Modelle mit Geodaten bewähren sich in der Praxis. [Online]. Verfügbar unter: <https://amberggroup.com/de/news-events/amberg-group-news/news/bim-3d-models-with-geodata-prove-themselves-in-practice/> (Zugriff am: 5. Mai 2022).

[8]ÖBB-Infrastruktur AG, Digitaler Detektiv. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.unsereoebb.at/de/artikel/2019/digitaler-detektiv> (Zugriff am: 5. Mai 2022).

Vision2028 – Bauingenieurinnen sichtbar machen

Sabrina May¹, Natalia Bienkowski²

¹ TU Dresden, Institut für Baubetriebswesen, sabrina.may@tu-dresden.de

² TU Dresden, Institut für Baubetriebswesen, natalia.bienkowski@tu-dresden.de

Kurzfassung

Im vorliegenden Beitrag wird das vom BMBF-geförderte Projekt „Vision2028“ vorgestellt, welches sich mit der Identifikation und Sichtbarmachung von Bauingenieurinnen seit 1928 in Deutschland beschäftigt. Motivation des Projektes ist der Umstand, dass aktuell kaum weibliche Rollenvorbilder im Bauingenieurwesen bekannt sind. Auch in der einschlägigen Literatur zu historischen WegbereiterInnen des Bauingenieurwesens und ihren Werken kommen nur vereinzelt Frauen vor. Aus diesem Grund ist das Ziel des Projektes innovative deutsche Bauingenieurinnen seit 1928 zu identifizieren und sichtbar zu machen.

Zunächst wird die Vorgehensweise innerhalb des Projektes erläutert, indem die einzelnen Module vorgestellt werden. Im Speziellen wird auf die Recherche und Identifikation von Bauingenieurinnen (Modul 1) eingegangen. Der Fokus liegt auf dem Aufbau und den Herausforderungen innerhalb der Recherche. Auf dieser Basis werden Empfehlungen für Bauingenieurinnen formuliert, um ihre eigene Sichtbarkeit zu erhöhen.

Schlagwörter: Bauingenieurinnen, Rollenvorbilder, Forschung

Inhaltsverzeichnis

1	Vision und Ausgangssituation des Forschungsprojektes	208
2	Vorgehensweise.....	209
3	Recherche und Identifikation von Bauingenieurinnen	210
3.1	Aufbau der Recherche (Modul 1)	210
3.2	Herausforderungen bei der Recherche	213
4	Sichtbarkeit erhöhen.....	215
5	Fazit und Ausblick.....	216
6	Literatur	216

1 Vision und Ausgangssituation des Forschungsprojektes

Die erste deutsche Bauingenieurin begann ihre Tätigkeit im Jahr 1928. [1, S. 379] Im Jahr 2028 kann das 100-jährige Jubiläum von Bauingenieurinnen in Deutschland gefeiert werden. Doch welche Beiträge haben Frauen in der Zwischenzeit in diesem Fachgebiet beigetragen und was ist die Vision für Bauingenieurinnen für das Jahr 2028? Mit diesen und weiteren Fragen beschäftigt sich das vom BMBF geförderte Projekt Vision2028 (FKZ 01FP21011).

Obwohl der Frauenanteil unter den Studienanfängern, in Bauunternehmen und in der Verwaltung etwa 30 % oder mehr beträgt, gilt das Fachgebiet Bauingenieurwesen gesellschaftlich als reine Männerdomäne. [2] Viele Frauen tragen zur Forschung und Entwicklung im Bauingenieurwesen bei, jedoch ist deren Beitrag (vor allem für junge Personen und Personen außerhalb des Fachbereiches) schwer wahrnehmbar. In diesem Fachbereich fehlen somit weibliche Rollenvorbilder. Auf Anhieb sind als fachliche Vorbilder bzw. historische Wegbereiter im Bauingenieurwesen keine Frauen bekannt. Daher ist es von Interesse im Forschungsprojekt modellhaft die Beiträge von Frauen in den verschiedenen Fachdisziplinen des Bauingenieurwesens, beginnend mit dem Jahr 1928 bis zur Gegenwart, in Deutschland herauszuarbeiten und sichtbar zu machen. Ziel ist es die „Vision2028“ für zukünftige Bauingenieurinnen aktiv zu beeinflussen und mitzugestalten.

Innovative fachliche Beiträge, Weiterentwicklungen und Meilensteine im Bauingenieurwesen, die von Frauen erarbeitet wurden, können sich beispielsweise durch Dissertationen, Patente, Fachveröffentlichungen, leitende Tätigkeiten in Wirtschaft und Verwaltung oder Engagement in Vereinen und Verbänden manifestieren. Daher ist eine Aufarbeitung und Auswertung dieser Beiträge sowie fachliche Einordnung deren Bedeutung für die Fachwelt notwendig. Eine erste Überblicksrecherche über einschlägige Literatur und Informationsquelle zu herausragenden fachlichen Beiträgen deutscher Bauingenieurinnen zeigte nur sehr wenige Ergebnisse. In dem im Jahre 2004 erschienenen 495 Seiten umfassenden Werk „Bauingenieure und ihr Werk“ von Klaus Stiglat finden zwei Frauen Erwähnung. Hiervon ist jedoch nur eine, Frau Martha Schneider-Bürger, der Ausbildung und Tätigkeit nach Bauingenieurin. Im Gegensatz dazu ist im benachbarten Fachgebiet Architektur beispielsweise mit dem Buch „Pionierinnen in der Architektur“ von Kerstin Dörhöfer eine Untersuchung über die Geschichte der ersten Architektinnen in Deutschland und ihres Werkes vorhanden.

Die überblickende Untersuchung der frei zugänglichen Online-Enzyklopädie Wikipedia zeigt, ergänzend zu Stiglats „Bauingenieure und ihr Werk“, weitere deutsche Bauingenieurinnen, wie Christina Schultheiß (1918-2016), Heidi Aschl (*1953), Sabine Kunst (*1954), Andrea Rugbarth (*1957) und Lamina Messari-Becker (*1973). Es fehlt jedoch das konkrete Herausstellen innovativer fachlicher Beiträge deutscher Bauingenieurinnen. Im Gegensatz hierzu werden bei Bauingenieurinnen aus dem Ausland ihre Erfindungen und Innovationen vorgestellt z. B. die Britin Sarah Guppy (1770-1852) als Erfinderin einer Pfahl-Verankerung für Hängebrücken. [3]

2 Vorgehensweise

Die Hauptziele des Forschungsprojektes sind zum einen das Untersuchen der Historie und der Gegenwart nach innovativen Frauen, zum Zweiten das Sichtbarmachen von Frauen und das strukturelle Verankern und laufende Aktualisieren der Sichtbarkeit und zuletzt das Fördern junger Frauen für die aktive Mitgestaltung der Zukunft sowie das Sicherstellen der Sichtbarkeit für die Zukunft.

Über folgende Module soll das Erreichen der oben genannten Ziele sichergestellt werden:

Modul 1 – Recherche und Identifikation

Die zuvor benannten, identifizierten Lücken, d. h. das Fehlen konkreter Informationen zu innovativen Beiträgen deutscher Bauingenieurinnen in der Vergangenheit und Gegenwart, ist durch gezielte Recherche, Aufarbeitung und Einordnung in den fachlichen und geschichtlichen Kontext sowie geeigneten Veröffentlichungen zu schließen. Hierzu sollen neben der Recherche von Dissertationen, Habilitationen und Fachveröffentlichungen auch Patente von Frauen sowie Ämter und Positionen, die Frauen innehatten, untersucht werden. Auch nach Auszeichnungen und Ehrendokortiteln, die Frauen für ihre innovativen Arbeiten erhalten haben, sollen im Rahmen der Recherche gesucht werden. Im nächsten Schritt werden die identifizierten wissenschaftlichen Leistungen, innovativen Idee und Errungenschaften der Frauen ansprechend aufbereitet, um sie für die Öffentlichkeit sichtbar zu machen und für die Mitgestaltung der Zukunft zu nutzen.

Modul 2+3 – Sichtbarmachen

Das Sichtbarmachen in diesen Modulen umfasst zwei Schwerpunkte. Zum einen die Leistungen und Karrieren der Frauen für die breite Öffentlichkeit und als Rollenvorbilder speziell für junge Frauen und zum anderen die Leistungen und Potenziale der identifizierten Frauen in Wissenschaft, Forschung und Fachverbänden zur Verbesserung der Repräsentanz von Frauen sichtbar zu machen. Die identifizierten weiblichen Rollenvorbilder werden durch breit angelegte, moderne und professionelle visuelle Kommunikation z. B. über eine Website, Soziale Medien, Online-Enzyklopädien und Vernetzungen mit anderen Medienschaffenden, für die Öffentlichkeit sichtbar gemacht. Das Aufbereiten von Informationen bzw. Inhalten in Form hochwertiger Bild- und Videomaterialien sowie deren Verbreitung auf verschiedenen Plattformen der Sozialen Medien gilt als die wirksamste Art, um besonders junge Frauen (Schülerinnen, Studentinnen, Berufseinsteigerinnen) zu erreichen, auf emotionaler Ebene anzusprechen und zu motivieren. Mit Fokus auf Wissenschaft, Forschung und Fachverbände sind aktive Teilnahmen an geeigneten Tagungen unter Vorstellen des Vorhabens und dessen Ergebnissen, sowie die Veröffentlichung von Fachbeiträgen vorgesehen. Auch die Kommunikation und Vernetzung mit Institutionen, die innovative Frauen hervorgebracht haben, dient als Mittel zur Sichtbarmachung der identifizierten Frauen.

Modul 4 – Strukturelle Verankerung

Zur Förderung des Interessensaustausches zwischen Frauen im Berufsleben, Studentinnen und interessierten Schülerinnen wird in Modul 4 eine Vernetzungsgruppe gegründet, die auch nach Ende des Forschungsprojektes weiter fortbestehen soll. Diese Gruppe dient als Modellprojekt für die Gründung weiterer Gruppen, die nach Ende der Projektlaufzeit an anderen Standorten entstehen sollen. Ziel der Modellgruppen ist es, die Sichtbarkeit zukünftiger innovativer Beiträge von Frauen sicherzustellen und eine fortlaufende Vernetzung von Frauen im Bauingenieurwesen zu ermöglichen. Hierzu soll aus den Erkenntnissen, die sich aus der Recherche und des Sichtbarmachens von Bauingenieurinnen sowie der Gründung der Modellgruppe ergeben, durch Dokumentation und laufende Evaluierung, eine Handlungsempfehlung erarbeitet werden. Diese soll als Grundstein für die Gründung weiterer Gruppen an anderen Orten und ggf. in anderen Fachdisziplinen dienen.

Modul 5 – Dokumentation und Auswertung

Modul 5 dient der Analyse, Dokumentation und Evaluation der Ergebnisse des Forschungsprojektes Vision2028. Wie bereits in Modul 4 erwähnt, wird eine Handlungsempfehlung für die zukünftige Sichtbarmachung von Frauen im Bauingenieurwesen erarbeitet. Weiterhin werden weitere Forschungsbedarfe aufgezeigt, die sich im Laufe der Projektbearbeitung ergeben haben.

3 Recherche und Identifikation von Bauingenieurinnen

3.1 Aufbau der Recherche (Modul 1)

Um die verschiedenen Bereiche abzudecken, wird die Recherche in vier Arbeitspakete gegliedert. Arbeitspaket 1 umfasst dabei Dissertationen, Habilitationen und Fachveröffentlichungen von Bauingenieurinnen seit 1928. In Arbeitspaket 2 wird nach Patenten von Frauen seit 1928 recherchiert. Die Recherche nach Frauen in Ämtern und leitenden Positionen wird in Arbeitspaket 3 durchgeführt. Als letztes umfasst Arbeitspaket 4 Auszeichnungen und Ehrendokortitel, die an innovative Bauingenieurinnen verliehen wurden. Im Weiteren werden die Recherchestrategien der einzelnen Arbeitspakete genauer betrachtet:

Arbeitspaket 1 – Dissertationen, Habilitationen und Fachveröffentlichungen

Nach Fassen einer geeigneten Strategie wird die Recherche in den ausgewählten Datenbanken durchgeführt. Seit 1913 werden alle in Deutschland oder auf Deutsch publizierten Werke in der Datenbank der Deutschen National Bibliothek (DNB) gesam-

melt. Hinzu kommen ab 1998 auch die Online-Dissertationen und Habilitationen aus ganz Deutschland. Dissertationen und Habilitationen, die vor 1998 publiziert wurden, werden nicht in einem zentralen Verzeichnis geführt. Hierfür sind an den einzelnen Universitäten sogenannte Zettelkataloge vorhanden, die die Veröffentlichungen der unterschiedlichen Fakultäten beinhalten. Neben der Datenbank der DNB werden Fachveröffentlichungen auch in weiteren Datenbanken, wie z. B. der RSWB+ Datenbank geführt. Parallel zur Recherche erfolgt die Auswertung der identifizierten Frauen hinsichtlich ihres innovativen Beitrages für die Fachwelt. Untersucht werden alle Fachgebiete des Bauingenieurwesens (Hochbau, Tiefbau, Ingenieurbauwerke, etc.) mit allen identifizierbaren dazugehörigen Disziplinen, wie etwa Statik, Konstruktion, Planung. Die Auswertung der identifizierten Frauen hinsichtlich ihres innovativen Beitrags für die Fachwelt erfolgt anhand gewählter Relevanzkriterien. Als Mindestbedingung wurde in diesem Arbeitspaket festgelegt, dass die Frauen mindestens fünf Fachveröffentlichungen publiziert haben müssen. Weiterhin wurde anhand einer kurzen Biographierecherche die Lebensläufe der Frauen hinsichtlich ihrer innovativen Tätigkeiten analysiert.

Arbeitspaket 2 – Patente und Patentanmeldungen seit 1928

Ziel des Arbeitspaketes 2 ist es auf Basis einer geeigneten Recherchestrategie Patente und Patentanmeldungen, die dem Bereich Bauingenieurwesen bzw. damit verbundenen Bereichen, wie etwa Baumaschinen, Sicherheits- und Gesundheitsschutz zuzuordnen sind, zu identifizieren und nach weiblichen Erfinderinnen zu untersuchen. Es war dabei möglich auf die professionelle Unterstützung des Patentinformationszentrums (PIZ) der TU Dresden zurückzugreifen. Neben der Identifikation patentierter Inhalte innovativer Frauen ist auch eine statistische Untersuchung über Anzahl und Zeitpunkte der Patentanmeldungen möglich.

Die Recherche der Patente und Patentanmeldungen wurde über zwei Datenbanken realisiert. Die erste Datenbank *Orbit*, über welche das PIZ Patentrecherchen anbietet, führt alle Patente der DDR und BRD ab etwa 1951. Für die älteren Patente war eine Recherche in der frei zugänglichen Datenbank *Depatisnet* erforderlich. Dort werden deutsche Patente ab etwa 1877 geführt.

Für die Erstellung der Suchstrategie wurden 11 baubezogene Patentklassen (Brücken, Ausbau, Bauelemente, Gründungen u. w.) ausgewählt. Für den Zeitraum 1928 bis 2021 konnten für diese 11 Patentklassen insgesamt 219.560 Patentanmeldungen, Patente und Gebrauchsmuster identifiziert werden. Die Trefferlisten wurden im nächsten Schritt auf weibliche Erfinderinnen hin durchsucht. Dies dezimierte die Anzahl der Treffer auf 2.989.

Um die relevantesten Patente zu identifizieren, wurde in einem nächsten Schritt geprüft, wie lange die erteilten Patente anhängig waren, d. h. wie lange der Patentschutz galt. Die Dauer des Patentschutzes beträgt maximal 20 Jahre und muss durch regelmäßige Zahlungen aufrechterhalten werden. Bei einem Patent, das die maximale Schutzdauer anhängig war, kann man also davon ausgehen, dass dieses eine hohe wirtschaftliche Relevanz für den Patentinhaber hatte und ein Mehrwert für die Fachwelt vorliegt.

Arbeitspaket 3 – Ämter und Positionen

Mittels Recherchen und Anfragen an die jeweiligen relevanten Stellen werden Frauen identifiziert, die Ämter und Positionen in Baupolitik, Bauverwaltung, baubezogener Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung im Zeitraum 1928-2020 innehatten. Hierzu wird die Recherche in die verschiedenen Bereiche geteilt und in jedem Bereich der Detaillierungsgrad schrittweise erhöht. Zu ausgewählten Frauen wird eine vertiefende Recherche durchgeführt, um deren Wirken z. B. hinsichtlich innovativer Ideen, Errungenschaften und strategischer Neuerungen zu konkretisieren. Auf folgende Bereiche wird dabei ein größeres Augenmerk gelegt:

Zunächst werden Bauingenieurinnen in der Wissenschaft gesucht. Als Ausgangspunkt der Recherche dienen die TU9 (Allianz der führenden Technischen Universitäten in Deutschland). Hier werden zunächst die Lehrstuhlinhaber auf Frauen überprüft. Es gilt die Fragen „Wie viele Lehrstühle gibt es in bauverwandten Studiengängen?“ und „Wie viele der Lehrstühle sind durch Frauen besetzt?“ zu klären. Im nächsten Schritt werden Beschäftigten der Lehrstühle (wissenschaftliche Mitarbeiter) auf ihre Zusammensetzung überprüft. Dabei gilt es herauszufinden, wie viele Frauen angestellt sind und wie das Verhältnis zwischen angestellten Männern und Frauen an den Lehrstühlen ist. Abschließend erfolgt dann die Dokumentation der wichtigsten Informationen über die identifizierten Frauen in einer Art Datenbank.

Als nächstes werden Bauingenieurinnen in der Wirtschaft gesucht. Fokus hierbei liegt auf den 50 größten Ingenieurbüros und Bauunternehmen. Als Ausgangspunkt werden zunächst die 50 größten Bauunternehmen bzw. Ingenieurbüros recherchiert. Darauf aufbauend werden auf den Internetseiten der Ingenieurbüros und Bauunternehmen nach Frauen in leitenden Positionen bzw. Führungspositionen gesucht. Auch nach Aussagen zur Frauenförderung, die die Unternehmen betreiben wird recherchiert. Die Dokumentation erfolgte anschließend in einer Excel-Tabelle.

Mit einem ähnlichen Vorgehen werden zudem Frauen in leitenden Positionen in Verbänden, Vereinen, Gesellschaften und Instituten, wie z. B. Gewerkschaften, Ingenieurkammern, baubezogenen Ausschüssen (VDI, DIN) gesucht. Auch in der Politik, Verwaltung und an öffentlichen Stellen wird nach innovativen Bauingenieurinnen in Führungspositionen recherchiert. Alle zusammengetragenen Informationen werden in einer Excel-Tabelle gesammelt.

Abgerundet wird dies von einer statistischen Auswertung der Recherche, von der interessante Ergebnisse erwartet werden, die zur Ausrichtung der Aktionen der „Vision2028“ dienen sollen. Ziel ist es die nachfolgende Generation junger Bauingenieurinnen zu motivieren Unterrepräsentationen von Frauen in bestimmten Bereichen zu mindern.

Arbeitspaket 4 – Auszeichnungen und Ehrendokortitel

Anhand von Recherchen werden einschlägige baubezogenen Auszeichnungen, die beispielsweise seitens Vereinen oder Unternehmen für besondere Leistungen verliehen werden, identifiziert und hinsichtlich deren Verleihung an Frauen untersucht. Ziel ist

es besonders innovative Bauingenieurinnen zu identifizieren sowie die Häufigkeit der Verleihung der Preise an Frauen zu untersuchen. Auch die Verleihung der Ehrendoktorwürde oder Ehrenprofessur an Frauen im Bauingenieurwesen ist Teil dieser Recherche. Die Recherche teilt sich hierbei in zwei wesentliche Abschnitte. Im ersten Abschnitt wird der Fokus auf bundesweite Auszeichnungen und Ehrendokortitel gelegt. Im zweiten Abschnitt folgt die Eingrenzung auf regionale und hochschuleigene Auszeichnungen.

3.2 Herausforderungen bei der Recherche

Bei der Recherche sind in den einzelnen Arbeitspaketen Herausforderungen aufgetreten, die die Identifikation innovativer Bauingenieurinnen erschwert haben. Auf diese Herausforderungen wird im Folgenden genauer eingegangen:

Arbeitspaket 1 – Dissertationen, Habilitationen und Fachveröffentlichungen

Die Recherche nach innovativen Frauen im Bereich Dissertationen, Habilitationen und Fachveröffentlichungen gestaltet sich sehr aufwendig, da häufig bereits ein Filtern nach Fachbereichen nicht eindeutig möglich ist. Es kommt hierbei immer wieder vor, dass im Filter Fachveröffentlichungen der Architektur oder anderen Fachgebieten mit angezeigt werden. Auch nach dem Geschlecht des Autors bzw. der Autorin kann nicht gefiltert werden. So ist es erforderlich, lange Listen von Autorinnen und Autoren anhand der Vornamen manuell auszuwerten, um zum einen die Autorinnen herauszufiltern und zum anderen zu überprüfen, ob es sich dabei um Bauingenieurinnen handelt. Letzteres gestaltet sich durchaus schwierig, da im Internet nicht über jede der zu untersuchenden Damen Informationen zum Lebenslauf bzw. ihrer Ausbildung zu finden sind.

Wie bereits zuvor erwähnt, sind nicht alle Dissertationen und Habilitationen in einer zentralen Datenbank erfasst. Die Datenbank der DNB führt erst Dissertationen und Habilitationen ab 1998. Um an frühere Dissertationen und Habilitationen ist die Auswertung der Zettelkatalog der einzelnen Universitäten erforderlich. Beispielhaft wurde der Zettelkatalog der Fakultät Bauingenieurwesen an der TU Dresden ausgewertet. Hierbei waren mehrere Tausend Zettel manuell von Hand auszuwerten. Die sich daraus ergebenden Daten werden in einer Excel-Tabelle gesammelt.

Arbeitspaket 2 – Patente und Patentanmeldungen seit 1928

Herausforderung bei der Identifikation von Erfinderinnen ist der Umstand, dass bei der Recherche von Patenten und Gebrauchsmustern kein Filtern nach dem Geschlecht möglich ist. Die nach Patentklasse, Zeitraum und Land eingeschränkten Ergebnislisten müssen manuell ausgewertet werden. Die Angabe des Erfinders fehlt zudem bei einigen Dokumenten, da der Erfinder auf seine Nennung verzichten kann. Als Patentinhaber ist in diesem Fall oft ein Unternehmen genannt, so dass eine Identifikation des Erfinders nicht mehr möglich ist. Die statistische Auswertung ist dadurch erschwert, da nur der Anteil der Patentanmeldungen, Patente und Gebrauchsmuster mit eindeutig als

weiblich identifizierbarer Namensnennung erfasst werden kann. Positiv zu vermerken war die Nennung des Mädchennamens in den Patentedokumenten, so dass nach einem Namenswechsel durch Heirat der Werdegang der Frau weiterhin rekonstruiert werden kann.

Arbeitspaket 3 – Ämter und Positionen

Bauingenieurinnen in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zu finden, gestaltet sich aufgrund der teilweise nur schwer zugänglichen Informationen als sehr aufwendig. Die benötigten Informationen werden über die Internetseiten der Hochschulen, Unternehmen oder Ämter gesammelt und sind dort nicht ohne weiteres zugänglich sind. Hierzu zählen vor allem Aussagen zu Frauen, die Ämter und Positionen in der Vergangenheit innehatten. Im Bereich Wirtschaft ist bereits die Recherche nach den 50 größten Ingenieurbüros Deutschlands aufwendig, da es unzählige Ingenieurbüros in Deutschland gibt und daraus die 50 größten identifiziert werden sollen. Sind die größten Ingenieurbüros identifiziert, ist eine Auswertung der jeweiligen Internetseiten nach Mitarbeiterinnen in Führungspositionen erforderlich. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn das Team des jeweiligen Ingenieurbüros auch auf ihrer Internetseite angegeben ist.

Arbeitspaket 4 – Auszeichnungen und Ehrendokortitel

Für die Recherche zu bundesweiten Auszeichnungen stehen Quellen mit stark unterschiedlicher Informationstiefe und Auswertbarkeit zur Verfügung. Bei der Recherche nach bundesweit verliehenen Ehrendokortiteln ist festzustellen, dass die Universitäten der TU9 (Allianz der führenden Technischen Universitäten in Deutschland) über frei zugängliche Dokumentationen der vergebenen Ehrendoktorwürden verfügen. Die Dokumentationen sind dabei in sehr unterschiedlicher Detailtiefe aufbereitet. Typischerweise ist eine Namensliste mit der Jahreszahl der Verleihung zu finden. Eine Aufgliederung nach Fachbereichen gibt es im Regelfall nicht, genauso wenig, wie eine Unterscheidung zwischen männlichen und weiblichen Würdenträgern.

Relevanzkriterien

Die Festlegung der Relevanzkriterien stellt eine der größten Herausforderungen dar. Festzulegen, wann eine Bauingenieurin innovativ genug ist, um sie vorrangig sichtbar zu machen, stellt sich als sehr herausfordernd dar. Zudem ist dabei zwischen Frauen in der aktuellen Zeit und Frauen ab 1928 zu unterscheiden. Damals war es bereits eine Errungenschaft, wenn eine Frau überhaupt Bauingenieurwesen studieren konnte. Später dann die erste Dissertation im Fachbereich Bauingenieurwesen oder die erste Professur. Heutzutage sind die Anforderungen der Relevanz jedoch höher.

Für die Aufstellung der Relevanzkriterien war eine grobe Orientierung an den Kriterien von Wikipedia angedacht, da geplant ist einen Teil der Sichtbarmachung über Wikipedia-Artikel abzudecken. Die Kriterien sollen dabei helfen die Relevanz von Artikel-

gegenstände für die deutschsprachige Wikipedia zu beurteilen. Da die Relevanzkriterien von Wikipedia leider Ingenieure nicht als eigenes Unterkriterium vorsehen, müssen sich die Bauingenieurinnen in diesem Fall den allgemeinen Hinweisen zur Relevanz von Personen sowie der Kriterien der Wissenschaftler unterordnen. Die Kriterien von Wikipedia zielen im Bereich Wissenschaft vor allem auf Personen ab, die entweder eine Professur an einer anerkannten Hochschule erreicht haben und/oder aufgrund ihrer Leistungen international anerkannt sind. Dazu gehören auch Personen, die einen anerkannten Wissenschaftspreis erhalten haben.

Da IngenieurInnen bei den Relevanzkriterien von Wikipedia nur bedingt betrachtet werden, war es erforderlich eigene Kriterien für die Innovativität von Bauingenieurinnen aufzustellen. Einige dieser Relevanzkriterien wurden bereits im vorherigen Kapitel genauer betrachtet. In anderen Fällen steht die Festlegung der Kriterien noch aus.

4 Sichtbarkeit erhöhen

Aus den Herausforderungen bei der Recherche und Identifikation von deutschen Bauingenieurinnen können Schlüsse gezogen werden, welche Hindernisse es für deren Sichtbarkeit gibt. Im Umkehrschluss können daraus Empfehlungen für eine bessere Sichtbarkeit von Frauen als Expertinnen formuliert werden:

- Auf Hochschul- oder Unternehmens-Websites: Angabe einer Kurzbiografie inkl. Veröffentlichungen, weiterem Engagement (z. B. Gremienarbeit).
- Nennung des Geburtsnamens als Zusatz beibehalten, um die Biografie anhand der Namensnennung (beispielsweise bei Veröffentlichungen) kontinuierlich rekonstruierbar zu halten. Bei Patenten nicht auf die Nennung als Erfinderin verzichten.
- Die Relevanz der Beiträge für die Fachwelt wird meist nach Beendigung der Karriere bzw. erst im Rahmen eines Nachrufes formuliert. Um dies zu ändern, sind Gelegenheiten noch während der aktiven Berufstätigkeit der Expertin zu schaffen, um die Innovativität und Relevanz der Beiträge für das Fachgebiet zu formulieren. Hierzu kann beispielsweise das Verleihen von Preisen und das Aktivieren einer damit verbundenen Pressearbeit mit hoher medialer Resonanz dienlich sein.
- Die aktive Teilnahme an Konferenzen, die Netzwerkarbeit im eigenen Fachbereich sowie ggf. Gremienarbeit sind weitere wichtige Elemente, um besser als Experte bzw. Expertin wahrgenommen zu werden.
- Führen einer gut gepflegten Linked-In oder Xing-Seite hilft dabei sichtbarer zu werden.

5 Fazit und Ausblick

Innovative Frauen im Bauingenieurwesen sind bis heute nur wenige bekannt. Sowohl in der Literatur als auch bei Ausstellungen zum Bauingenieurwesen kommen Frauen zu kurz. Genau aus diesem Grund besteht zum einen ein hoher Forschungsbedarf nach innovativen Bauingenieurinnen in der deutschen Historie, und zum anderen der Bedarf aktuell aktive Bauingenieurinnen darin zu stärken aktiv selbst ihre Sichtbarkeit zu erhöhen.

Die ersten Monate der Recherche zeigen, dass die Suche nach innovativen Frauen in Bauingenieurwesen sehr aufwendig, aber bereits jetzt ergiebig ist. Der große Aufwand ist nicht zuletzt bedingt durch die doppelte Unsichtbarkeit von Bauingenieuren, welche allgemein hinter den Architekten zurückstehen und aus diesem Grund häufig nicht bekannt sind.

Das Projekt „Vision2028“ wird einen Beitrag leisten mehr Bauingenieurinnen und deren Leistungen sichtbar zu machen. Gleichwohl werden viele innovative Frauen und deren Beiträge weiterhin unbekannt bleiben, solange sie nicht recherchierbar sind. Innovative Frauen, die auf Grund ihrer hohen Arbeitsauslastung oder familiärer Verpflichtungen zeitlich nicht in der Lage sind Veröffentlichungen zu platzieren, aktiv an Konferenzen oder Netzwerken teilzunehmen etc. sind daher nicht minder innovativ und wichtig, aber ggf. weniger wahrnehmbar für die Fachwelt.

6 Literatur

[1]K. Stiglat, *Bauingenieure und ihr Werk*. Berlin: Ernst, 2004. [Online]. Verfügbar unter: <https://swbplus.bsz-bw.de/bsz107555875rez.htm>

[2]Petra Kraus, ... *auf den Punkt gebracht: „Mehr Bauingenieurinnen am Bau“*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/auf-den-punkt-gebracht/mehr-bauingenieurinnen-am-bau#:~:text=Zudem%20sind%20mittlerweile%2028%20%25%20der,f%C3%BCr%20Frauen%20anscheinend%20weniger%20interessant.> (Zugriff am: 29. März 2022).

[3]Wikipedia, *Sarah Guppy*. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Sarah_Guppy (Zugriff am: 29.03.22).

Datenbasierte Prozessschrittenerkennung mit neuronalen Netzen für das Kelly-Bohrverfahren

B. Moos ¹

¹Technische Universität München (TUM), School of Engineering and Design (ED), Department of Civil and Environmental Engineering (CEE), integrales Center Bauen und Immobilien (iCBI), Lehrstuhl für Bauprozessmanagement (BPM), b.moos@tum.de

Kurzfassung

Drehbohrgeräte sind mit einer Vielzahl an Sensoren ausgestattet, die wertvolle Daten bereitstellen. Es wird untersucht, inwiefern sich Produktionszustände allein aus den Datenmustern dieser Sensoren mit Hilfe von künstlichen neuronalen Netzen eindeutig bestimmen lassen. Die Daten, die überwiegend aus der Maschinensteuerung kommen, liefern keine direkte Information zu den Produktionszuständen des Bohrgeräts. Sie erzeugen jedoch Datenmuster, die mit neuronalen Netzen ausgewertet werden können. Produktionszustände sind in diesem Zusammenhang zuvor definierte Prozessschritte der Pfahlherstellung innerhalb einer konsekutiven Prozessschrittkette. Auf Grundlage eines zuvor erstellten Referenzdatensatzes kann durch Lernalgorithmen ein neuronales Netz generiert werden, das über die Erkennung von Mustern in einem gleichartigen Datensatz theoretisch eine Zuordnung ermöglichen kann. Im vorliegenden Fall wurde eine Übereinstimmung von 99,8 % gegenüber dem Referenzdatensatz erreicht.

Schlagwörter: Baumanagement, Bauüberwachung, Prozessschrittenerkennung, neuronale Netze, Mustererkennung, Baumaschinendaten

Die Untersuchung ist Teil eines Forschungsvorhabens KO-MIT zum kontinuierlichen Bauprozessmonitoring mit Hilfe Künstlicher Intelligenz am Beispiel des Kelly-Bohrverfahrens das am Lehrstuhl für Bauprozessmanagement (Prof. Dr.-Ing. K. Nübel) mit dem Arbeitskollegen Herr D. Hock in Kooperation mit Herr Dr. H. Regler (Fielddata.io) gefördert durch den Freistaat Bayern durchgeführt wird.

Inhaltsverzeichnis

1	Methodik.....	220
1.1	Mustererkennung über neuronale Netze.....	220
1.2	Lernalgorithmen	220
2	Datenaufbereitung.....	221
3	Ergebnisse	222
4	Literatur	224

1 Methodik

1.1 Mustererkennung über neuronale Netze

Zur Erkennung der jeweiligen vorab definierten Prozessschritte in den Sensordaten wird ein neuronales Netz generiert, das über eine Mustererkennung eine Zuordnung der Messwerte zu den einzelnen Prozessschritten ermöglichen kann. Beim Anlernen des neuronalen Netzes wird die Methode des „überwachten Lernens“ verwendet. Dabei erhält der Lernalgorithmus als Eingangsparameter neben der Matrix mit den Rohdaten eine beispielhafte Zuordnung zu den entsprechenden Prozessschritten als binäre Matrix.

1.2 Lernalgorithmen

Im Rahmen der Untersuchung wurde mit den im Folgenden kurz beschriebenen Lernalgorithmen die beste Übereinstimmung mit dem Referenzdatensatz erzielt. Für die ersten Abschätzungen wurde der durch Möller auf Grundlage des Gradienten- bzw. konjugierten Gradientenabstiegsverfahrens¹ entwickelte Scaled Conjugate Gradient (SCG) Algorithmus² [3] [4, S. 97-98] [5, S. 57-59] aufgrund seiner kürzeren Laufzeit verwendet.

1.2.1 Levenberg-Marquardt

Der Levenberg-Marquardt Algorithmus geht zurück auf Donald W. Marquardt [6] und Kenneth Levenberg [7]. Die Grundidee des Algorithmus kann zur Lösung der beispielsweise Gleichung $F(x)=y$ folgendermaßen beschrieben werden:

Minimiere die quadratische Abweichung $\|F(x)-y^\delta\|^2$ innerhalb einer sogenannten Trust-Region.³ Dabei wird eine kugelförmige Region mit dem Radius η_k um die zuvor gewählte approximative Lösung x_k^δ herum gewählt und die linearisierte Funktion innerhalb dieser minimiert. Anders ausgedrückt $\|y^\delta - F(x_k^\delta) - F'(x_k^\delta)s\|^2 + \alpha_k \|s\|^2 = \min$, wobei α_k der Lagrange Parameter ist und $s=s_k$. In den darauffolgenden Iterationsschritten wird x_k^δ durch $x_{(k+1)}^\delta = x_k^\delta + s_k$ ersetzt und evtl. der Radius der Trust-Region $\eta_{(k+1)}$ korrigiert. [8, S. 64]

¹ Die auch als Verfahren der konjugierten Gradienten bezeichnete Methode gehört ebenso wie das einfache Gradientenverfahren, das auch als Verfahren des steilsten Abstiegs bezeichnet wird zu Verfahren für unresstringierte Aufgaben. [1, S. 945-946] Das ursprünglich zur Lösung linearer Gleichungssysteme entwickelte Verfahren wurde durch Fletcher und Reeves zur Lösung nicht linearer Gleichungssysteme angepasst. [2, S. 101-134].

² Das Verfahren wird auch als skaliertes konjugierter Gradientenabstieg oder Verfahren der skalierten konjugierten Gradienten bezeichnet. `trainscg` ist die auf diesem basierende verwendete Trainingsfunktion in MATLAB.

³ Dass es genau genommen fasst unmöglich ist die Daten exakt und umfasst zur Verfügung zu haben wird dabei Rechnung getragen indem y^δ als die realen Messwerte definiert ist und angenommen wird, dass $\|y^\delta - y\| \leq \delta$. [8, S. 2].

1.2.2 Bayesian Regularization

Das Ziel des Lernprozesses kann durch eine Minimierung der Summe der quadrierten Abweichungen E_D definiert werden: $F=E_D=\sum_{(i=1)}^n (t_i-a_i)^2$. Dabei repräsentiert t_i die Targets und a_i die Antwort des neuronalen Netzes.⁴ Die Regularisierung führt zu dem zusätzlichen Term E_w sowie den Zielfunktionsparametern α und β , so dass die Zielfunktion zu $F=\beta E_D+\alpha E_w$ wird. Diese Zielfunktionsparameter ermöglichen nun eine Regularisierung des Lernprozesses. Im Bayes'schen Rahmen werden die Gewichte des Netzwerks zunächst als Zufallsvariablen betrachtet. Nach einer ersten Aufnahme der Daten kann die Dichtefunktion für die Gewichte dann anhand der Regeln des Satz von Bayes folgendermaßen aktualisiert werden:

$$P(\mathbf{w}|D, \alpha, \beta, M) = \frac{P(D|\mathbf{w}, \beta, M) \cdot P(\mathbf{w}|\alpha, M)}{P(D|\alpha, \beta, M)}$$

Formel 1-1: Anwendung des Bayes-Theorems zur Aktualisierung der Dichtefunktion

D ist dabei der Datensatz, M das verwendete neuronale Netz und \mathbf{w} ein Vektor mit den Gewichten des Netzes. $P(\mathbf{w}|\alpha, M)$ ist die vorherige Dichte. $P(D|\mathbf{w}, \beta, M)$ ist die Plausibilitätsfunktion, die die Wahrscheinlichkeit wiedergibt mit welcher man bei den verwendeten Gewichten \mathbf{w} auf die Daten trifft. $P(D|\alpha, \beta, M)$ wird als Normalisierungsfaktor angesetzt, um sicherzustellen, dass die Gesamtwahrscheinlichkeit eins beträgt. [10]

2 Datenaufbereitung

Zum Anlernen des neuronalen Netzes wurde ein Referenzdatensatz erstellt, der aus einer manuellen Zuordnung der Prozesszustände generiert wurde. Zunächst wurde dazu vor Ort ein manuelles Monitoring zur Erfassung der Zeitdauern für die einzelnen Prozessschritte durchgeführt. Der Beobachtungszeitraum entsprach 10 Bohrzyklen. Dieser diente als Grundlage zur manuellen Identifizierung der Prozessschritte auf Grundlage logischer Schlussfolgerungen. So ließ sich die Veränderung von bestimmten Messwerten auch da als Zeitpunkt des Übergangs identifizieren, wo dies nicht direkt aus der Kombination von Messwerten allein erkennbar war.

- Die Vorgänge „Senken“ und „Heben“ können beispielsweise sehr gut anhand des Messwerts der Tiefe der Hauptseilwinde, an welcher das letzte Element der teleskopierbaren Kellystange und der Bohraufsatz befestigt sind bzw. seiner Veränderung über die Zeit, erkannt werden.
- Das „Aufsetzen des Bohrkopfes“ lässt sich anhand eines Messwertes, der die Seilkraft an der Hauptseilwinde angibt, erkennen.

⁴ Für die Aktualisierung von ‚Weight‘ und ‚Bias‘ greift der verwendete Bayesian Regularization Algorithmus auf die Levenberg-Marquardt Methode zurück [9] und baut insofern auf dieser auf.

- Der Prozessschritt „Bohren“ kann gut an Drehmoment und Drehgeschwindigkeit erkannt werden.
- Um das Bohrgut möglichst ohne die Stützflüssigkeit entfernen zu können erfolgte in diesem Beispiel stets ein „Abtropfvorgang“, der sich anhand eines Verweilens bei einem Messwert der Tiefe der Hauptseilwinde kurz unterhalb der als Nullpunkt definierten Oberkannte der Verrohrung erkennen ließ.
- „Schwenken“ und „Zurückschwenken“ konnten in diesem Produktionsablauf an der Mastneigung erkannt werden, da beim Herausschwenken aus der Bohrposition eine geringfügige Veränderung der X und Y-Achse beobachtet werden konnte. Erklären lässt sich dies in der Annahme, dass die Drehachse des Trägergerätes senkrecht zum relativ waagerechten Untergrund der Baugrube ist und die exakte Senkrechte des Mäklers bzw. Mast in Bohrposition durch Veränderung des Winkels auf dem oberen schwenkbaren Bereich des Trägergerätes kalibriert wird. Somit ist die Kalibrierung stets an eine bestimmte Drehposition gebunden. Und beim Herausschwenken aus dieser ergibt sich in der Konsequenz in Abhängigkeit von dem geringfügigen Umfang, in dem der Untergrund nicht exakt waagerecht ist, eine Veränderung der X und Y-Achse. Da innerhalb des betrachteten Produktionsablaufes keine weiteren Vorgänge stattfanden, bei denen der Mäklär in seiner Neigung verändert wurde, war dadurch eine eindeutige Identifizierung der Schwenkvorgänge möglich.
- Der Zeitpunkt des Anfangs des „Entleerens“ kann anhand eines kurzzeitigen Peaks (i.d.R. 1 Sekundenwert) der Seilkraft der Hauptwinde erkannt werden. Dieser ergibt sich aus dem kurzzeitigen Anpressen der Oberkannte des Bohreimers an die Unterseite des Drehantriebes bzw. des daran angebrachten Werkzeuges zum Eindrehen der Verrohrung. Ein aus der Oberseite des Bohreimers herausragender Metallstift wird dadurch eingedrückt und damit das Öffnen mechanisch ausgelöst.
- Das Aufsetzen und Drehen zum Schließen des Bohreimers konnte anhand des zuvor beschriebenen Aufsetzvorgangs (Seilkraft Hauptwinde), sowie der Drehgeschwindigkeit erkannt werden.

Durch diese Regeln ließen sich die Prozessübergänge anhand von Veränderungen der entsprechenden Messwerte identifizieren und damit die Zuweisung der Datenintervalle zu Prozesszuständen definieren.

Für die weitere Untersuchung wurde auf dieser Grundlage der Referenzdatensatz (4.404 Sekundenwerte) erstellt. Dabei wurden die genauen Zeitpunkte (Anfang eines Prozessschrittes und damit Ende des vorherigen Prozessschrittes) der Prozessschritte definiert. Die Übergangszeitpunkte entsprechen damit jeweils exakt dem Zeitpunkt der in den Daten sichtbaren Veränderung. Ein spezifischer Prozessschritt wurde also immer da zugeordnet, wo ein vergleichbarer Verlauf der Datenreihen identifiziert werden konnte.

3 Ergebnisse

Anhand dieses Referenzdatensatzes konnte nun das neuronale Netz trainiert werden. Im vorliegenden Fall konnte für den Referenzdatensatz von 4.404 Sekundenwerten ein

neuronales Netz generiert werden, das eine Übereinstimmung von 99,5 % der Zeitwerte mit Ihrem entsprechenden Zustand ermöglichte. Dabei wurde der LevenbergMarquardt Backpropagation Algorithmus⁵ verwendet, um das neuronale Netz zu trainieren. Mit dem ebenfalls auf Jacobi-Matrizen beruhenden etwas rechenintensiveren Bayesian Regularization Backpropagation Algorithmus⁶ konnte sogar eine Genauigkeit von 99,8 % erreicht werden. Letztere Methode hat jedoch unter 10 Durchläufen vereinzelt eine deutlich höhere Laufzeit benötigt. Der Datensatz wird unter Anwendung des Levenberg-Marquardt Backpropagation Algorithmus in einen Anteil zum Training des künstlichen neuronalen Netzes, einen zur Validierung sowie einen zum Test aufgeteilt. Im Gegensatz dazu wird bei der Anwendung des Bayesian Regularization Backpropagation Algorithmus lediglich zwischen Datenanteilen für Training und Test differenziert.⁷ Der Trainingsdatensatz wird dazu zufällig nach durch den Nutzer angegebenen Anteilen⁸ aufgeteilt. Für Training, Test und Validierung werden auch einzeln Ergebnisse ausgegeben, die sich im gegebenen Fall nur sehr geringfügig unterschieden. Bei den erwähnten und in Tab. 3-1 sichtbaren Ergebnissen handelt sich jeweils um das Gesamtergebnis von Training, Validierung und Test bzw. im Falle des Bayesian Regularization Backpropagation Algorithmus von Training und Test.

Target											
Senken	99,9 %	0	0	0	0	0	0	0	1	1.340	
	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	30,4 %	
Bohren	99,7 %	0	0	0	0	0	0	1	863	2	
	0,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	19,6 %	0,0 %	
Heben	99,9 %	0	0	0	0	0	1	1.226	0	0	
	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	27,8 %	0,0 %	0,0 %	
Abtropfen	100 %	0	0	0	0	0	313	0	0	0	
	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	7,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
Schwenken	98,8 %	0	0	0	1	81	0	0	0	0	
	1,2 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	1,8 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
Entleeren	99,1 %	0	0	0	107	0	0	1	0	0	
	0,9 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	2,4 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
Schließen	96,5 %	0	2	82	1	0	0	0	0	0	
	3,5 %	0,0 %	0,0 %	1,9 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
Zurückschwenken	100 %	0	91	0	0	0	0	0	0	0	
	0,0 %	0,0 %	2,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
Pause	100 %	291	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0,0 %	6,6 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
	99,8 %	100 %	97,8 %	100 %	98,2 %	100 %	99,7 %	99,8 %	99,9 %	99,9 %	
	0,2 %	0,0 %	2,2 %	0,0 %	1,8 %	0,0 %	0,3 %	0,2 %	0,1 %	0,1 %	

Tab.3-1: Ergebnismatrix (Bayesian Regularization Backpropagation)

⁵ Trainingsfunktion in MATLAB: Trainlm.

⁶ Trainingsfunktion in MATLAB: Trainbr.

⁷ Die Validierung erfolgt hier direkt innerhalb des Trainingsdatensatz, so dass kein Anteil der Daten als Validierungsdaten notwendig ist.

⁸ Hier trainlm: 70 % Training, 15 % Validierung, 15 % Test; trainbr: 85 % Training, 15 % Test.

Die Zuordnung erfolgte dabei in neun verschiedenen Prozessschritten. In Tab. 3-1 wird deutlich, wie viele der Messwerte mit dem gegebenen Lernalgorithmus - Bayesian Regularization Backpropagation - richtig zugeordnet werden konnten und an welcher Stelle noch geringfügige Optimierungspotentiale bestehen. Da auch deutlich wird, wo Werte falsch zugeordnet wurden, kann die Matrix als Ausgangspunkt für Verbesserungen im weiteren iterativen Prozess dienen.

Die Rohdaten wurden zur Vergleichbarkeit in Bezug auf die Varianz durch Division mit der Standardabweichung der gesamten Datenreihe standardisiert

$z_i = x_i/\sigma$ mit $\sigma = \sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)/n}$. Zur Optimierung wurden weitere Datenreihen aus den Messwerten rechnerisch generiert, die dann neben den Rohdaten als Eingangswerte in die Mustererkennung eingeflossen sind. Dies betrifft ein 10Sekunden-Mittelwert-Delta einiger Messreihen sowie durch eine exponentielle Glättung erster Ordnung gefilterte Messreihen.

$$\Delta\bar{x}_{10sec,i} = \frac{\sum_{i=10}^{i-1} x_i}{10} - \frac{\sum_i^{i+9} x_i}{10}$$

Formel 3-1 10-Sekunden-Mittelwert-Delta

$$y_i = x_i \cdot z + y_{i-1} \cdot (1 - z) \quad \text{mit} \quad \{z \in \mathbb{R} \mid 0 < z < 1\}$$

Formel 3-2: Exponentielle Glättung erster Ordnung

4 Literatur

- [1] I. N. Bronstein, K. A. Semendjajew, G. Musiol und H. Mühlig, *Taschenbuch der Mathematik*, 10. Aufl. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel, 2016.
- [2] J. Nocedal und S. J. Wright, *Numerical Optimization*. New York: Springer Verlag, 2006.
- [3] M. F. Møller, „A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning“, *Neural Networks*, Jg. 6, Nr. 4, S. 525–533, 1993, doi: 10.1016/S0893-6080(05)80056-5.
- [4] M. Pfister, *Leaning Algorithms for Feed-forward neural Networks - Design, Combination and Analysis*. Dissertation, Institut für Informatik, FU Berlin. Düsseldorf: VDI Verlag, 1996.
- [5] A. J. Shepherd, *Second-Order Methods for Neural Networks: Fast and Reliable Training Methods for Multi-Layer Perceptrons*. London: Springer-Verlag, 1997.
- [6] D. W. Marquardt, „An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters“, *SIAM Journal on Applied Mathematics*, Jg. 11, Nr. 2, S. 431–441, 1963, doi: 10.1137/0111030.
- [7] K. Levenberg, „A Method for the Solution of Certain Non-Linear Problems in Least Squares“, *Quarterly of Applied Mathematics*, Jg. 11, Nr. 2, S. 164–168, 1944, doi: 10.1090/qam/10666.

-
- [8]B. Kaltenbacher, A. Neubauer und O. Scherzer, *Iterative Regularization Methods for Nonlinear Ill-Posed Problems*. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2008.
- [9]The MathWorks inc., *trainbr: Bayesian regularization backpropagation*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainbr.html;jsessionid=4b1669285a5376feb-315fec17f9f> (Zugriff am: 1. März 2022).
- [10]E. D. Foresee und M. T. Hagan, „Gauss-Newton Approximation to Bayesian Learning“, *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (ICNN'97)*, Nr. 3, S. 1930–1935, 1997, doi: 10.1109/ICNN.1997.614194.

Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit der BIM-Methode

Konrad Neubaur¹

¹Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen, neubaur@icom.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Die Digitalisierung und mit ihr die Methode Building Information Modeling (BIM) wird als große Chance im Bauwesen angesehen, die seit Jahrzehnten stagnierende Produktivität im Bauwesen zu steigern. BIM werden dabei die verschiedensten Mehrwerte für die jeweiligen Projektbeteiligten zugesprochen und durch qualitative Studien belegt. Jedoch ist eine Quantifizierung dieser Mehrwerte unabdinglich. Aus diesem Grund werden im vorliegenden Beitrag ausgewählte Publikationen auf bisherige Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit von BIM untersucht und bewertet. Der abschließende Ausblick soll weiteren Forschungsbedarf zu Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Kontext der Anwendung von BIM aufzeigen.

Schlagwörter: Building Information Modeling, Wirtschaftlichkeit, Produktivität, Nutzenanalyse

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	228
1.1	Hintergrund.....	228
1.2	Ziel des Beitrags	229
2	Mehrwerte bei Anwendung der BIM-Methode.....	229
3	Einblick in den Stand der Forschung zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von BIM.....	230
4	Analyse der Literatur	233
5	Fazit und Ausblick.....	235
6	Literaturverzeichnis	236

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Effizienz und Produktivität sind zwei Wörter, die in der Bauwirtschaft gerne – teilweise synonym – benutzt werden. Dabei ist das tatsächlich Gemeinte meist ähnlich. Während die Effizienz ein Kriterium ist, mit dem beschrieben wird, ob ein Ziel mit einer bestimmten Maßnahme auf vorgegebene Art und Weise erreicht werden kann (Stichwort Wirtschaftlichkeit) [5], beschreibt die Produktivität das Verhältnis von Output zu Input der eingesetzten Produktionsfaktoren [6]. Insbesondere die Entwicklung der Produktivität ist in der Baubranche sowohl national als auch international stagnierend. Dies bekräftigt in gewisser Weise die Unterstellungen einer latenten Technologie- und Innovationsfeindlichkeit der Baubranche in Deutschland [7, S. 590]. Abbildung 1-1 stellt die Entwicklung der Produktivität ausgewählter Wirtschaftssektoren in Deutschland von 1991 bis 2015 einzeln und kumuliert dar. Während andere Wirtschaftssektoren Produktivitätssteigerungen von bis zu 180 % erfahren haben, ist im Baugewerbe keine Steigerung festzustellen.

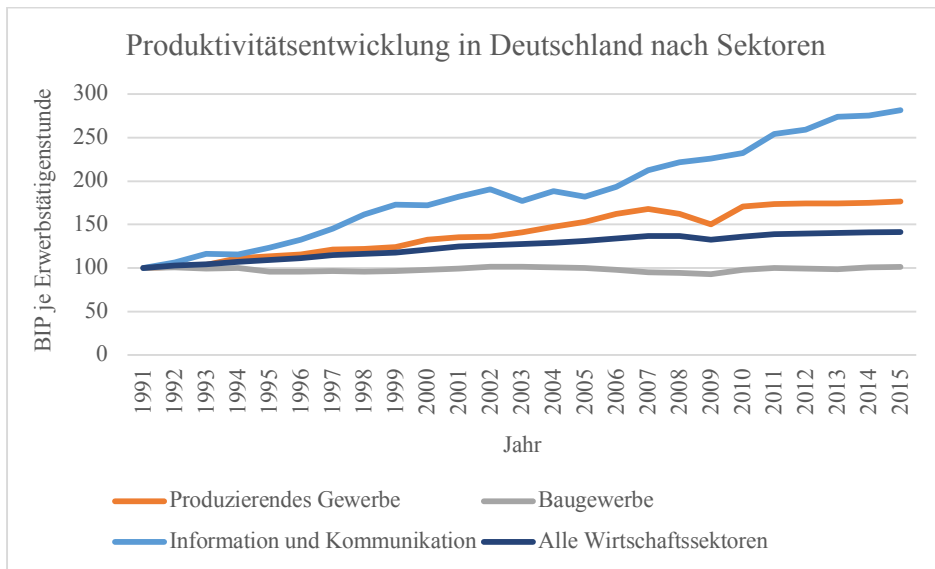


Abb. 1-1: Produktivitätsentwicklung in Deutschland, 1991=100;
Quelle: Statistisches Bundesamt in [1, S. 9]

Als Lösung für die Steigerung von Effizienz und Produktivität im Bauwesen wird die Digitalisierung angeführt. Der Themenkomplex Digitalisierung beinhaltet dabei neben Themenfeldern wie der Robotik, künstlicher Intelligenz und Blockchain auch das Build-

ding Information Modeling (BIM), welchem eine Schlüsselrolle in der Digitalisierung zugesprochen wird. [7, S. 590] Hierbei verspricht man sich insbesondere durch teamorientierte und kooperative Problemlösungsmechanismen große Effizienzvorteile und Produktivitätssteigerungen. [9, S. 7] Jedoch hängt Deutschland im internationalen Vergleich beim Einsatz dieser Methode stark hinterher. Während in Norwegen der öffentliche Sektor bereits im Jahr 2008 damit begonnen hat BIM-Standards zu erstellen und die norwegische Regierung sich 2010 dazu verpflichtet hat, die BIM-Methode einzuführen und daraufhin auch verschiedene BIM-Programm und -Pilotprojekte starteten [2, S. 454], wurde in Deutschland erst 2015 der Stufenplan Digitales Planen und Bauen vom ehemaligen Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur veröffentlicht. Darin wird die in drei Schritten aufgeteilte Einführung der BIM-Anwendung vorwiegend im Infrastrukturbau und im infrastrukturbezogenen Hochbau beschrieben. Bestandteil der ersten beiden Stufen war die Durchführung von Pilotprojekten auf einem vorab definierten Leistungsniveau 1 bis 2020. Ende 2020 begann mit der dritten Stufe die Implementierung in der Breite auf jenem Niveau. Eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit bei der Anwendung von BIM ist in Leistungsniveau 1 jedoch nicht gefordert. [3, S. 5ff.]

1.2 Ziel des Beitrags

Im vorliegenden Beitrag wird das Ziel verfolgt, den Begriff der Wirtschaftlichkeit im Kontext der BIM-Methode zu beleuchten und einen Überblick über bisherige Forschungsarbeiten in diesem Bereich zu geben. Dazu wird in einem ersten Schritt erläutert, welche Mehrwerte und Vorteile sowie Einsparpotenziale der Einsatz der BIM-Methode mit sich bringt. Anschließend wird ein Überblick über unterschiedliche Veröffentlichungen im Kontext der Wirtschaftlichkeit von BIM gegeben. Die betrachteten Veröffentlichungen werden daraufhin miteinander verglichen. Für die Analyse wird dabei von der These ausgegangen, dass Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Anwendung der Methode BIM bisher überwiegend aus qualitativer Sicht getätigt wurden und kein ganzheitliches Kennzahlensystem zur quantitativen Bewertung in verschiedenen Sektoren der Baubranche vorhanden ist. Im Fazit werden die wesentlichen Erkenntnisse kurz zusammengefasst. Außerdem wird ein Ausblick gegeben, an welchen Stellen noch weiterer Untersuchungsbedarf besteht.

2 Mehrwerte bei Anwendung der BIM-Methode

Die Vorteile bei der Anwendung der BIM-Methodik offenbaren sich in der Planungs-, Ausführungs- und Betriebsphase und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Steigerung der Qualität in der Planung durch frühzeitige Kollisionsvermeidung,
- reduzierte Kosten in Planung und Ausführung,
- ein terminlich optimierter und transparenter Planungsprozess,

- verlustfreie Übergabe von Bauwerksinformationen beim Übergang in andere Lebenszyklusphasen (insbesondere der Übergang in die Betriebsphase und dadurch eine Optimierung des Facility Managements). [4, S. 6]

Dem gegenüber stehen jedoch auch gewisse Nachteile wie bspw.

- Erhöhung und Verschiebung des Planungsaufwandes in frühere Projektphasen,
- notwendige Qualifikation der Beteiligten,
- Neuanschaffung von EDV-, weiteren Softwarelösungen und entsprechender Hardware. [4, S. 7]

Auch im Stufenplan Digitales Planen und Bauen werden die Potenziale der BIM-Methode insbesondere mit der Erhöhung der Planungsgenauigkeit und Kostensicherheit sowie der Optimierung der Kosten im Lebenszyklus aufgeführt. [3, S. 7f.]

Letztendlich zielen die in verschiedensten Quellen aufgeführten Vorteile, Potenziale und Mehrwerte der BIM-Methode darauf ab, im Projektgeschäft die Aspekte des Dreiecks im Projektmanagement zu verbessern: Baukosten und Bauzeit optimieren und Qualität steigern. Auf der anderen Seite führen die aufgezählten Nachteile dazu, dass Zeit und Geld als Investition für die Anwendung der BIM-Methode aufgewendet werden muss. Damit die Anwendung von BIM nun effizient bzw. wirtschaftlich ist und dem eigentlichen Ziel der Produktivitätssteigerung dienlich ist, muss der erfahrene Nutzen die aufgewendeten Kosten übersteigen. Eine belastbare Aussage dazu kann nur getroffen werden, wenn diesbezüglich eine quantitative Bewertung vorgenommen wird.

3 Einblick in den Stand der Forschung zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von BIM

Für den vorliegenden Beitrag wurde eine Analyse ausgewählter Literatur durchgeführt. Zu Grunde gelegt wurden neun Veröffentlichung, größtenteils aus dem deutschsprachigen Raum. Im Folgenden werden die Kernaussagen der identifizierten Veröffentlichungen herausgearbeitet, um einen Überblick über den Entwicklungsstand zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von BIM zu geben. Die Analyse stellt jedoch kein abschließendes Urteil dar, da noch weitere Literatur zu dieser Thematik existiert.

DEUBEL stellt Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von BIM in der Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten an. Konkret verfolgt er das Ziel, ein Modell zu entwickeln, in welchem Anwendungsfälle hinsichtlich ihres Implementierungs- und Anwendungsaufwandes bewertet werden können. In Verbindung mit der Bewertung des aus der Umsetzung der Anwendungsfälle entstehenden Nutzens, soll eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit dieser getroffen werden. DEUBEL betrachtet dabei nicht nur einzelne Anwendungsfälle für sich, sondern bringt die kombinierte Anwendung mehrerer Anwendungsfälle in einem Wirkungsgefüge in einen Zusammenhang. [10, S. 8f.] Letztlich ergibt sich im Ergebnis ein funktionierendes Modell, um Aussagen über die

Wirtschaftlichkeit von einzelnen Anwendungsfällen bzw. Anwendungsfall-Kombinationen zu treffen.

SUCCAR ET AL. behandeln in einem Artikel fünf Messgrößen zur Leistungsmessung von BIM. Mit diesen fünf Messgrößen soll es unterschiedlichsten Interessensgruppen ermöglicht werden, Zuverlässigkeit und Gebrauchstauglichkeit bei Anwendung der BIM-Methode zu steigern. Die fünf Messgrößen sind (i) BIM-Leistungstufen (Beschreibung von Meilensteinen bei der Implementierung von BIM inkl. Mindestanforderungen), (ii) BIM-Reifegrade (Reifegrad der implementierten BIM-Fähigkeiten bzw. Leistungen), (iii) BIM-Kompetenzsets (Technologie, Prozesse und Richtlinien jeweils noch weiter aufgeteilt), (iv) BIM-Organisationsskala (berücksichtigt unterschiedliche Unternehmensgrößen, Disziplinen und Märkte, auf den sich Unternehmen bewegen) und (v) BIM-Granularitätsstufen (Steigerung der Flexibilität bei der Bewertung der Leistungsstufen und Reifegrade). [11, S. 120 ff.]

BARLISH und SULLIVAN haben 2012 einen Beitrag veröffentlicht, in dem sie über eine empirische Untersuchung berichten, mit der sie untersucht haben, ob die Anwendung von BIM in Bauprojekten Vorteile mit sich bringt. Dazu haben die Autor:innen eine Fallstudie mit BIM-Projekten und Nicht-BIM-Projekten durchgeführt. In einem ersten Schritt ihrer Studie, wird eine Literaturrecherche durchgeführt. Dabei werden unter anderem Messgrößen identifiziert, mit denen der Nutzen von BIM gemessen werden kann. Anschließend werden im Rahmen dieser Recherche notwendige Daten für die Nutzung der identifizierten Messgrößen ermittelt. Der zweite Schritt beschäftigt sich mit der Fallstudie. Hierbei werden BIM- und Nicht-BIM-Projekte eines Halbleiterherstellers in Bezug auf Investitionen und Erträge miteinander verglichen. Das Ergebnis der Fallstudie, welche eine der wenigen Studien ist, die überhaupt in der Praxis festgestellte Einsparpotentiale beziffert, ergibt Einsparungen von rund 2 % des gesamten Planungs- und Bauumfangs. [12, S. 149ff.]

ZWIELEHNER und SPREITZER versuchen in einem 2019 veröffentlichten Artikel eine Erklärung dafür zu liefern, dass die Nutzung von BIM bisher bzw. oft nicht den gewünschten Effekt der Steigerung der Wirtschaftlichkeit mit sich bringt. Als Gründe dafür führen die Autoren neben den technischen noch zu bewältigenden Herausforderungen vier Aspekte an. Durch die Parametrisierung der modellbasierten Planung können endgültige Entscheidungen hinausgezögert werden. Dem gegenüber stehen die Auswirkungen der vollständigen Modellierung. Ab einem bestimmten Punkt in der Planung sind Anpassungen trotz, oder grade wegen BIM, mit großen Änderungskosten behaftet, da dies digital aufwendiger als bei 2D-Plänen sei. Die Kombination dieser beiden Effekte führt dazu, dass Leistungen und dementsprechend Entscheidung vorgezogen werden müssen, damit es nicht zu einem erhöhten Aufwand kommt. Der vierte angeführte Aspekt ist das teilweise unterschiedliche Verständnis der einzelnen Projektbeteiligten zu BIM. Jedoch liefern auch diese Autoren keine quantitativen Betrachtungen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von BIM. [13, S. 499ff.]

STANGE verfolgt das Ziel, in Abhängigkeit der projektbezogenen BIM-Reife Aussagen über die Auswirkungen der Anwendung von BIM auf die Projektzielgrößen Kosten, Zeit und Qualität zu treffen. Er schließt dabei sowohl die Planungs- als auch die Aus-

führungsphase in seine Untersuchungen mit ein. Betrachtungsgegenstand der Untersuchung sind 105 internationale Bauprojekte, die über einen Zeitraum von 15 Jahren abgewickelt worden sind. Der Aspekt der Kosten wird hier als Arbeits- bzw. Zeitaufwand bei der Projektbearbeitung betrachtet. [14, S. 25ff.] *„Die Forschungsergebnisse belegen, dass die Anwendung [von BIM] in der untersuchten Stichprobe keine erkennbare Steigerung der Produktivität im Planungs- und Bauprozess bewirkt hat.“* [14, S. XIII] Die in qualitativen Vergleichsstudien festgestellten Verbesserungspotenziale konnten in dieser Studie nicht nachgewiesen werden. Dies ist auf den geringen BIM-Reifegrad der in der Untersuchung betrachteten Projekte zurückzuführen. Der Autor führt an, dass bei zukünftigen Untersuchungen wirtschaftliche Kennzahlen betrachtet werden sollten, um die Verbesserungspotenziale quantifizierbar zu machen. [14, S. 566ff.]

JUNG-LUNDBERG beschäftigt sich unter anderem mit der Beantwortung der Frage, wie der wirtschaftliche Nutzen der Anwendung von BIM bei kleinen und mittelgroßen Wohnungsbaumaßnahmen bewertet werden kann. Dazu entwickelt JUNG-LUNDBERG ein Modell, welches es ermöglichen soll, Aussagen über die Kompatibilität einer ganzheitlichen BIM-Applikation im genannten Untersuchungsraum treffen zu können. Das Modell basiert dabei auf der Vorgehensweise einer Nutzwertanalyse und verwendet vorab identifizierte BIM-Anwendungsziele (in der Arbeit auch als BIM-Anwendungsfälle bezeichnet). [15, S. 58] Anschließend werden die mit den BIM-Anwendungszielen korrelierenden monetären Aufwände ermittelt und hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet. [15, S. 6f.]

Ein Forscherteam der Hochschule Karlsruhe beschäftigte sich 2016 mit der Thematik der Effizienzverbesserung bei der Anwendung von BIM. Im Rahmen einer Fallstudie (Hochbau, hauptsächlich Büroflächen, Abwicklung durch Totalübernehmer) werden die einzelnen Prozesse der Phasen Planung, Kalkulation und Ausschreibung unter Anwendung von BIM und als klassischer Prozess in Bezug auf den Zeitaufwand quantitativ miteinander verglichen. Ziel der Untersuchung ist es, Teilprozesse zu identifizieren, die durch Anwendung der BIM-Methode Effizienzpotentiale erfahren. Zahlen zu potentiellen Einsparpotenzialen oder gar im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung werden in dieser Fallstudie nicht ermittelt. Die Untersuchung ist teilweise kritisch zu sehen, da sie nur einen kleinen Teil der Planungs- und Ausführungsphase betrachtet und keine verschiedenen Projektrahmenbedingungen berücksichtigt. [16, S. 7ff.]

Der vom ehemaligen Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur im Oktober 2021 veröffentlichte Masterplan BIM Bundesfernstraßen beinhaltet die Implementierungsstrategie für die Methode BIM im Bundesfernstraßenbau. Als eines der fünf strategischen Ziele wird die Steigerung der Wirtschaftlichkeit benannt. Konkret werden die Effekte der Beschleunigung mit zwei bis vier Prozent und der Gesamtkosteneinsparung mit drei bis sechs Prozent beziffert. Jedoch liegen bisher keine Studien vor, die diese Erwartungen bestätigen können. [9, S. 13]






Beinahe zeitgleich veröffentlichte das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat im November 2021 den Masterplan BIM für Bundesbauten. Er beschreibt die Einführungsstrategie der Methode BIM für Bundesbauten, die damit verfolgten Ziele und bildet so ein inhaltliches und terminliches Rahmenwerk. Auch hier fällt unter die

verfolgten Ziele die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit jedoch ohne konkrete Zahlen bzw. Erwartungshaltungen zu benennen. [17, S. 9ff.]

4 Analyse der Literatur









Im vorherigen Kapitel wurden ausgewählte Veröffentlichungen betrachtet und jeweils das verfolgte Ziel, die angewandte Methodik und das erreichte Ergebnis zusammengestellt. Darauf aufbauend wird in diesem Kapitel aufbereitet, wie stark die betrachtete Literatur auf die Wirtschaftlichkeit von BIM eingeht.

Dazu werden die Veröffentlichungen anhand bestimmter Aspekte in Tabelle 4-2 gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Aussage zur Wirtschaftlichkeit von BIM bewertet. Für die Bewertung wurden fünf Kategorien in Form von sogenannten Harvey Balls gebildet, welche den Grad der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in der jeweiligen Veröffentlichung qualitativ beschreiben. Die Kategorien sind dabei in aufsteigender Reihenfolge entwickelt worden, wobei der Maximalgrad den anzustrebenden Idealzustand ¹ darstellt. Tabelle 4-1 enthält die Beschreibung der einzelnen Ausprägungsstufen der Harvey Balls.

Harvey Ball	Bedeutung
	Es wird allein eine Aussage über den nicht quantifizierten Nutzen von BIM getroffen.
	Es wird eine rein qualitative Aussage ohne Angabe von Kennzahlen über die Wirtschaftlichkeit von BIM getroffen oder ermöglicht.
	Es wird eine quantitative Aussage über die Wirtschaftlichkeit von BIM getroffen oder ermöglicht, welche sich auf einen einzelnen Sektor und einen spezifischen Bestandteil von BIM beschränkt.
	Es wird eine quantitative Aussage über die Wirtschaftlichkeit von BIM getroffen oder ermöglicht, welche sich auf einen einzelnen Sektor beschränkt und mehrere Bestandteile von BIM miteinbezieht oder umgekehrt.
	Es wird eine quantitative Aussage über die Wirtschaftlichkeit von BIM getroffen oder ermöglicht, welche sektorenübergreifend gilt und mehrere Bestandteile von BIM miteinbezieht.

Tab. 4-1: Ausprägungsstufen der Harvey Balls

¹ Als Idealzustand wird das Vorhandensein eines ganzheitlichen Kennzahlensystems zur quantitativen Bewertung der Wirtschaftlichkeit von BIM angesehen, welches in verschiedenen Sektoren der Baubranche zum Einsatz kommen kann. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Idealzustand heute noch nicht erreicht ist.

Quelle	Sektoren	Betrachtete Aspekte	Art der Untersuchung	Bewertung
DEUBEL, 2020 [10]	Nicht spezifiziert	Aufwand & Nutzen von BIM-Anwendungsfällen	Kosten/Nutzen-Modell mit praktischer Validierung	
SUCCAR ET AL., 2012 [11]	Sektoren-übergreifend	BIM-Leistungsstufen, BIM-Reifegrad, BIM-Kompetenzen, organisatorische Rahmenbedingungen	Fünf-stufiges Modell zur Bewertung der BIM-Leistung	
BARLISH & SULLIVAN, 2012 [12]	Fabrikbau	Diverse Rendite- und Investitionsmessgrößen	Fallstudie	
ZWIELEHNER & SPREITZER, 2019 [13]	Nicht spezifiziert	Parametrisierung der modellbasierten Planung, Änderungskosten, BIM-Verständnis	Theoretische qualitative Betrachtung des Einflusses verschiedener Effekte auf die Kostenentwicklung	
STANGE, 2019 [14]	Hochbau, Infrastruktur, Wasserbau	Projekt- und prozessbezogene Variablen	Empirische Datenerhebung	
JUNG-LUNDBERG, 2019 [15]	Wohnungsbau	BIM-Anwendungsziele (-fälle)	Modell zur Bewertung der Kompatibilität einer ganzheitlichen BIM-Applikation	
KORN ET AL., 2016 [16]	Hochbau	Arbeitsprozesse in den Phasen der Kalkulation, Ausschreibung und Vergabe	Fallstudie	
BMI, 2021 [17]	Hochbau		Strategie-Papier	
BMVI, 2021 [3]	Infrastruktur		Strategie-Papier	

¹ Es werden zwar Werte zum wirtschaftlichen Nutzen angegeben, jedoch nicht entsprechend belegt.

Tab. 4-2: Gegenüberstellung und Bewertung der betrachteten Literatur

Aus der Analyse und Gegenüberstellung wird ersichtlich, dass in den betrachteten Veröffentlichungen keine sektorenübergreifenden quantitativen Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von BIM getroffen werden. Auch werden keine einzelnen Kennzahlen oder Kennzahlensysteme aufgeführt, die dazu dienen können, die Wirtschaftlichkeit von BIM außerhalb des Rahmens einer Fallstudie zu bewerten. Darüber hinaus wird festgestellt, dass sich Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von BIM in den betrachteten Veröffentlichungen großteils auf den Bereich des Hochbaus beziehen. Aussagen zum Infrastruktur-, Tief- oder Wasserbau sind nur spärlich bis nicht vorhanden. Weiterhin ist festzustellen, dass der Veröffentlichungszeitpunkt der untersuchten deutschsprachigen Literatur zur Thematik der Wirtschaftlichkeit von BIM in den letzten Jahren liegt, während die Veröffentlichung der Literatur aus dem internationalen Raum bereits zehn Jahre zurück liegt. Dies bestätigt einerseits, dass sich Deutschland beim Thema BIM im internationalen Vergleich hinter anderen Ländern wiederfindet, lässt andererseits aber darauf schließen, dass das steigende Interesse in Forschung und Praxis in Deutschland weiter zunimmt.

Die dem Beitrag zugrunde liegende These, dass Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Anwendung der Methode BIM bisher überwiegend aus qualitativer Sicht getätigt wurden und kein ganzheitliches Kennzahlensystem zur quantitativen Bewertung in verschiedenen Sektoren der Baubranche vorhanden ist, wird durch die durchgeführte Analyse bestätigt. Allerdings ist das Ergebnis durch die begrenzte Anzahl der untersuchten Literatur nicht abschließend. Es konnte festgestellt werden, dass sich mit dem Thema in Deutschland vereinzelt auseinandergesetzt wird. Jedoch besteht diesbezüglich weiterer Forschungsbedarf.

5 Fazit und Ausblick

Die Produktivitätsentwicklung in der Baubranche stagniert seit über 30 Jahren. Als große Chance, die Produktivität zu erhöhen, wird das breite Feld der Digitalisierung und die darin enthaltene Methode Building Information Modeling angesehen. Jedoch hat sich die Anwendung von BIM in der Breite in Deutschland noch nicht durchgesetzt. Grund dafür könnte einerseits das fehlende Vertrauen in die oft aufgezählten Vorteile und Mehrwerte von BIM sein. Andererseits könnten fehlende oder nicht ausreichende Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit von BIM Bauherren, Planer und weitere an einem Bauprojekt Beteiligte vom Einsatz der Methode abhalten. Hohe Investitionskosten auf technischer und personeller Seite bei fehlender Aussicht auf wirtschaftlichen Erfolg können zu einer kritischen Haltung gegenüber BIM führen.

Aus diesem Grund wurden im vorliegenden Beitrag ausgehend von der eingangs aufgestellter These verschiedene Veröffentlichungen zum Thema Wirtschaftlichkeit von BIM betrachtet und hinsichtlich ihrer Möglichkeiten zur Aussagefähigkeit über die Wirtschaftlichkeit von BIM analysiert. Dabei ist festzustellen, dass in der betrachteten Literatur jene Aussagen nur begrenzt getroffen werden und deren Übertragbarkeit auf andere Sektoren oder die Anwendung von ganzheitlichen Kennzahlensystemen begrenzt

sind. Dabei könnte insbesondere die Entwicklung und Anwendung von Kennzahlensystemen zur Messung der Wirtschaftlichkeit von BIM dazu führen, dass die Implementierung von BIM (insbesondere in Deutschland) vorangetrieben wird.

Zukünftiger Forschungsbedarf besteht demnach in der Entwicklung solcher Kennzahlensysteme. Diese sollten sich nicht nur auf einen Sektor der Baubranche – bspw. den Hochbau – konzentrieren, sondern entweder direkt oder durch leichte Modifikation auf andere Umstände, Randbedingungen oder Sektoren übertragbar sein.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium der Finanzen, BMF-Monatsbericht Oktober 2017.
- [2] Cheng, J. C., Lu, Q., A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide in *Journal of Information Technology in Construction* 20, 2015.
- [3] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Stufenplan Digitales Planen und Bauen, 2015.
- [4] Eschenbruch, K., Malkwitz, A., Grüner, J., Poloczek, A., Karl, C. K., Maßnahmenkatalog zur Nutzung von BIM in der öffentlichen Bauverwaltung unter Berücksichtigung der rechtlichen und ordnungspolitischen Rahmenbedingungen - Gutachten zur BIM-Umsetzung, Forschungsprogramm Zukunft Bau, 2014.
- [5] Gabler Wirtschaftslexikon, Effizienz, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/effizienz-35160/version-258648>, zuletzt abgerufen am 29.03.2022.
- [6] Gabler Wirtschaftslexikon, Produktivität, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/produktivitaet-46151/version-269437>, zuletzt abgerufen am 29.03.2022.
- [7] Sundermeier, M., Beidersandwich, P., Theuring, F., Ökonomische Potenziale von Building Information Modeling (BIM) im Spannungsfeld von Branchenstruktur und Beschaffungspraxis in Hofstadler, C., Motzko, C. (Hrsg.), *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2021.
- [9] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Masterplan BIM für Bundesbauten, 2021.
- [10] Deubel, M., Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Building Information Modeling (BIM) in der Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten, Dissertation, KIT Scientific Publishing, 2020.
- [11] Succar, B., Sher, W., Williams, A., Measuring BIM performance: Five metrics in Architectural Engineering and Design Management, März 2012.
- [12] Barlish, K., Sullivan, K., How to measure the benefits of BIM – A case study approach in *Automation in Construction* 24, 2012.
- [13] Zwielehner, T., Spreitzer, P., Warum BIM (noch) nicht die erwartete Produktivitätssteigerung bringt in *Stahlbau* 88 - Heft 5, 2019.
- [14] Stange, M., Building Information Modeling im Planungs- und Bauprozess: Eine quantitative Analyse aus planungsökonomischer Perspektive, Dissertation, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2019.
- [15] Jung-Lundberg, S., Anwendung von Building Information Modeling (BIM) im Bereich kleinerer und mittelgroßer Wohnungsbaumaßnahmen - Entwicklung eines Modells zur Ermittlung des wirtschaftlichen und bauprozessualen Nutzens, Dissertation, 2019.

[16]Korn, M., Teizer, K., Obhof, L., Effizienzvergleich der BIM-basierten Arbeitsweise mit der klassischen Kalkulations- und Ausschreibungsmethode in Wolfgang Pollety (Hrsg.), RKW Informationen Bau-Rationalisierung - 4, 2016.

[17]Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Masterplan BIM für Bundesbauten, 2021.

Veränderungen in der Bauproduktionsstrategie durch die Integration der additiven Fertigung

Gerrit Placzek ¹

¹ Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Technische Universität Braunschweig,
g.placzek@tu-bs.de

Kurzfassung

Im Kontext von Produktivitätssteigerungen auf der einen Seite und der Erhöhung der Ressourceneffizienz auf der anderen Seite wird die additive Fertigung als eine Schlüsseltechnologie für die Bauproduktion erachtet. Die Anwendung der additiven Fertigung konzentriert sich im Bauwesen insbesondere auf den „Beton-3D-Druck“, also die unmittelbare Fertigung von zementbasierten Bauteilgeometrien. Bislang sind „3D-gedruckte Bauwerke“ zwar noch die Ausnahme, dennoch dominiert ähnlich wie im konventionellen Hochbau meist die In-Situ Produktionsstrategie. Dabei ist der Einsatz der additiven Fertigung nicht ausschließlich auf eine Baustellenfertigung begrenzt, sondern auch in der Vorfertigung sinnvoll. Im Unterschied zur konventionellen Vorfertigung kann beim Einsatz additiver Fertigungsverfahren auf produktionswirtschaftlich bedingte Formstandardisierungen verzichtet und zugleich leichtere, formoptimierte Bauteile erstellt werden. Die additive Fertigung steckt allerdings noch in den Grundzügen der Entwicklung. Um mehr als eine Nischenlösung zu sein, bedarf es einer zielgerichteten Strategie für eine Integration in die Bauwirtschaft. Ausgehend vom Zusammenhang des Vorfertigungsgrads und des Grads der Produktstandardisierung und -vielfalt werden in diesem Beitrag Veränderungen innerhalb der beiden bekannten Bauproduktionsstrategien aufgezeigt und mit der On-Site Produktion eine zusätzliche Bauproduktionsstrategie eingeführt. Zur Visualisierung der potenziellen Bauproduktionsstrategien werden praktische Anwendungsbeispiele dargestellt.

Schlagwörter: Additive Fertigung, Baustellenfertigung, Vorfertigung, Bauproduktionsstrategie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	240
1.1	Ausgangssituation.....	240
1.2	Gang der Untersuchung	240
2	Gestaltung des Bauproduktionsprozesses	241
2.1	Produktionsstrategien im Bauproduktionssystem.....	242
2.2	Stufen der Vorfertigung und Auswirkung auf den Planungsprozess.....	243
2.3	Zusammenhang zwischen Vorfertigungsgrad und Grad der Produkt- standardisierung und -vielfalt	243
3	Integration der additiven Fertigung in den Bauproduktionsprozess	245
3.1	Charakteristika additiver Fertigungsverfahren.....	245
3.2	Additive Fertigungsverfahren im Betonbau	246
3.3	Besonderheiten des Fertigungsprozesses.....	246
4	Produktionsstrategische Veränderungen des Bauprozesses	247
4.1	Verschlinkung des In-Situ Produktionsprozesses	247
4.2	Wirtschaftliche Vorfertigung individualisierter Fertigteile.....	248
4.3	Erweiterung der Produktionsstrategien durch die On-Site Produktion	249
5	Zusammenfassung.....	250
6	Dank	251
7	Literatur	2519

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die Bauwirtschaft ist einer der wichtigsten Wirtschaftszweige der (nationalen) Volkswirtschaft. Die Bedeutung der Bauwirtschaft kann am Anteil der Bauinvestitionen am Bruttoinlandsprodukt (BIP) gemessen werden und betrug 2020 11,6 % des BIP [1, o. S.]. Die Entwicklung des BIP hängt u. a. von der Effizienz der Leistungserstellungsprozesse aller Wirtschaftszweige ab.

Während sich jedoch die Entwicklung der Arbeitsproduktivität anderer Zweige der Produktionswirtschaft (a. v. verarbeitendes Gewerbe) sich nahezu verdoppelt hat, stagniert diese in der Bauwirtschaft, sofern man die letzten drei Jahrzehnte einer vergleichenden Betrachtung unterzieht [2, o. S.].¹ Obwohl die systembedingten Besonderheiten der Bauindustrie wie die standortbezogene Baustellenfertigung, die Fertigung unter „freiem Himmel“ und unter Witterungseinflüssen oder der Unikatcharakter von Bauwerken einen Teil dieser Probleme erklären, ist in jüngster Vergangenheit ein Streben nach Veränderung in der Baubranche zu vernehmen. Ineffiziente Bauprozesse sollen neu gedacht und der hohe Anteil nicht-wertschöpfender Tätigkeiten gesenkt werden. In diesem Zusammenhang spielen verschiedene Methoden des „industriellen Bauens“ eine große Rolle.

Der bekannteste Ansatz einer Industrialisierung der Bauwirtschaft dürfte die Verlagerung der Produktionsstätte in eine geschützte Umgebung sein („Vorfertigung“). Dieser Ansatz birgt im Hinblick auf Produktivitätssteigerungen noch immer Entwicklungspotenzial (z. B. bei der Vorfertigung von Raummodulen, s. u.). Einen vollkommen neuen und vor allem flexibleren Ansatz stellen additive Fertigungsverfahren dar, die weitestgehend losgelöst von der architektonischen Formen oder produktionsbedingter Standardisierung zu signifikanten Produktivitätssteigerungen sowohl in der In-Situ Produktion als auch in der Vorfertigung führen können [3, S. 308]. Die Additive Fertigung steckt allerdings noch in den Grundzügen der Entwicklung. Um mehr als eine Nischenlösung zu sein, bedarf es einer zielgerichteten Strategie für eine Integration in die Bauwirtschaft.

1.2 Gang der Untersuchung

In dem vorliegenden Beitrag sollen die Veränderungen aufgezeigt werden., die sich durch eine Integration additiver Fertigungsverfahren für die Gestaltung des Bauproduktionsprozesses ergeben. Hierfür wird zunächst im zweiten Abschnitt die beiden Strategien „In-Situ Produktion“ und „Vorfertigung“ zur Gestaltung des Bauproduktionsprozess vorgestellt. Ausgehend vom Zusammenhang des Vorfertigungsgrads und des Grads der Produktstandardisierung und -vielfalt werden Integrationsansätze für die additive Fertigung in den Produktionsstrategien abgeleitet. Im dritten Abschnitt werden Definition

¹ Im vergangenen Jahrzehnt stieg die Produktivität im Bauwesen im Vergleich mit der Gesamtwirtschaft in etwa ähnlicher Größenordnung.

und Erläuterungen zur additiven Fertigung im Bauwesen gegeben. Daran anknüpfend werden im vierten Abschnitt Veränderungen der Bauproduktionsstrategien aufgezeigt und Anwendungsbereiche für die additive Fertigung im Bauwesen abgeleitet. Ein Fazit einschließlich eines Ausblicks runden den Beitrag ab.

2 Gestaltung des Bauproduktionsprozesses

Bei einem Bauprojekt handelt es um ein zeitlich begrenztes und daher temporäres „System“ [4, S. 102] (Abb. 2-1). Mit Bezug zu Girmscheids *Bauproduktionstheorie* (2007) ist es die Aufgabe aller in der Bauwirtschaft tätigen Personen („Systembeteiligten“), durch ihr intendiertes, zielorientiertes Handeln einen gesellschaftlichen oder individuellen, kundenorientierten Nutzen wertschöpfend zu generieren [5, S. 402]. Zur Wertschöpfung ist ein geeignetes ganzheitliches Produktionssystem notwendig, durch das der immaterielle Input zu einem materiellen Output transformiert wird [5, S. 402]. Eine zentrale Aufgabe bei der Schaffung eines projektspezifischen, temporären „Bauproduktionssystems“ ist daher die strategische Ausrichtung des Bauproduktionsprozesses (auch Wertschöpfungsprozess), sodass der definierte Zielkorridor nicht verlassen wird und es zu keinem Misserfolg des Projekts (= Systemkollaps) kommt [4, S. 101], zum Beispiel durch verfehlte Kosten- oder Terminziele.

In Anbetracht der hohen Fragmentierung der Bauwirtschaft und der Vielzahl der Beteiligten ist dies allerdings alles andere als trivial. Aus einer Vielzahl unternehmerischer Produktionssysteme muss ein ganzheitliches „Bauproduktionssystem“ auf einen gemeinsamen Bauproduktionsprozess sowohl methodisch als auch strategisch abgestimmt werden [6, S. 14-15].

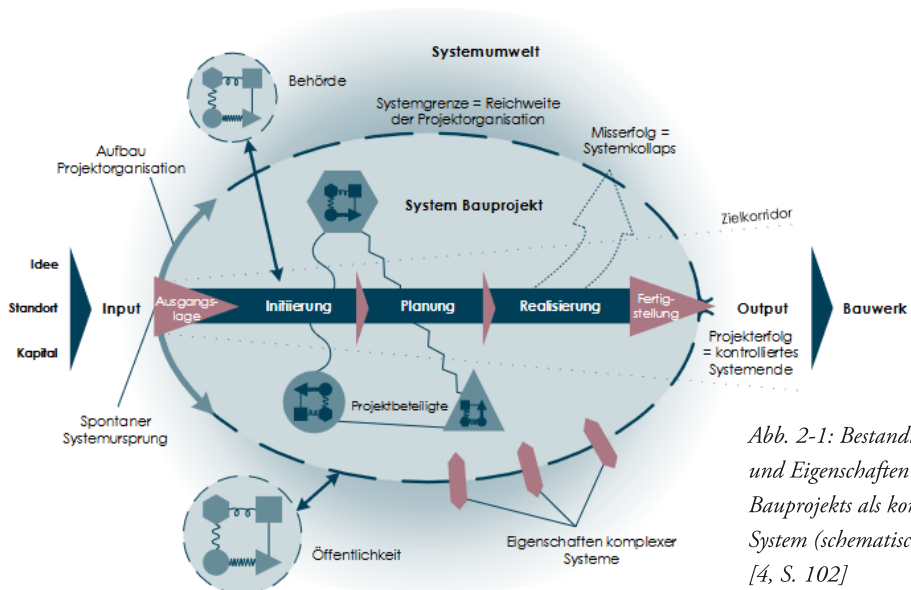


Abb. 2-1: Bestandteile und Eigenschaften des Bauprojekts als komplexes System (schematisch) [4, S. 102]

Die Tatsache, dass Gebäude und Infrastrukturbauwerke in aller Regel nur bei Bedarf mit der Stückzahl „1“ (standortgebunden) produziert werden (Auftragsfertigung), hat zur heutigen weiterhin vorherrschenden „In-Situ Bauproduktionsstrategie“ geführt.

Mit einer Verlagerung der Bauproduktion in ein stationäres Werk sollen etwaige Witterungseinflüsse auf die Produktionsprozesse, die bei der Vor-Ort-Fertigung unausweichlich sind, vermieden und Qualitätsverbesserungen erzielt werden. Grundprinzip dieser Methode des industriellen Bauens ist die Trennung des Produktionsorts vom Standort des Bauwerks. Infolge dieser räumlichen Trennung werden stets ein Transport der vorgefertigten Bauteile, -elemente oder Module zur sowie eine Montage auf der Baustelle erforderlich [7, S. 3].

2.1 Produktionsstrategien im Bauproduktionssystem

Die **In-Situ Produktionsstrategie** stellt die traditionelle Variante dar, in der weitestgehend alle Ausgangsmaterialien und Teilelemente zur Baustelle transportiert und vor Ort in handwerklich geprägten Prozessen verarbeitet werden [8, S. 538]. Ein nahezu vollständiger Kontrast zu dieser traditionellen Bauproduktionsstrategie wird in der Raummodulbauweise als alternative **Vorfertigungsstrategie** gesehen, bei der bei einer Maximierung des Vorfertigungsgrades vor Ort (theoretisch) nur noch montiert werden muss. Eine vollständige Vorfertigung ist in der Regel jedoch nicht möglich, da einige Aktivitäten weiterhin stets auf der Baustelle erfolgen müssen (z. B. vorlaufende Gründungsarbeiten oder die Verbindung der Elemente der technischen Ausrüstung).

Im Rahmen der Gestaltung des Bauproduktionsprozesses dient die Auswahl einer Bauproduktionsstrategie der Erreichung von Wert- bzw. Nutzenanforderungen des Kunden auf Basis des ökonomischen Minimalprinzips [5, S. 402]. Mittels einer strategischen Ausrichtung und Detaillierung des Bauproduktionsprozesses (= Bauproduktionsstrategie²) sollen frühzeitig die richtigen Projektweichen gestellt werden. Die Entscheidung für eine Bauproduktionsstrategie erfolgt idealerweise auf Basis quantitativer Entscheidungskriterien [7, S. 32-33]. Neben Wirtschaftlichkeits- und Risikobetrachtungen sind zudem Termine, Fristen sowie geschäftspolitische Entscheidungen relevant [7, S. 32-33]:

- Kann das Bauwerk aus technischer Perspektive vorgefertigt oder muss im Wesentlichen vor Ort produziert werden?
- Welche Bauweise ist wirtschaftlicher: Ortbeton, Mischbauweise mit Halbfertigteilen oder vollständige Fertigteilbauweise?
- Können produktionsrelevante Entscheidungen frühzeitig getroffen werden?
- Gibt es behördliche oder umweltrelevante Vorgaben?
- Ist mit witterungsbedingten Einflüssen auf den jeweiligen Bauablauf zu rechnen und welche Auswirkungen hätten diese?

² Als Bauproduktionsstrategie wird die prinzipielle Ausrichtung des Bauproduktionssystem im Hinblick auf die Erfüllung der Wert- und Nutzenanforderung definiert.

In der Vergangenheit wurde die Vorfertigung jedoch meist nicht als gleichwertige (mitunter sogar geeignetere) Bauproduktionsstrategie betrachtet. Hierbei spielt auch der zeitliche Faktor eine Rolle: Überlegungen (erst) in der Ausführungsplanung, ob die Vorfertigung eine „echte“ Alternative zur konventionellen In-Situ Bauproduktionsstrategie, finden in der Regel schlichtweg zu spät statt und würden regelmäßig eine aufwändige Um- bzw. Neuplanung erfordern, da es für eine wirtschaftliche Vorfertigung eine Vielzahl gleichartiger Bauteile bedarf [9, S. 75-76].

2.2 Stufen der Vorfertigung und Auswirkung auf den Planungsprozess

Gibb (2001) beschreibt vier Stufen der Vorfertigung [10, S. 308-309]: (1) Herstellung einzelner Elemente und Teilmontage von Bauteilen, für die eine Vor-Ort Herstellung unüblich ist, (2) nicht-volumetrische Vorfertigung von zweidimensionalen Elementen (wie Halbfertigteildecken oder Fertigteilstützen), (3) volumetrische Vorfertigung von Elementen, die einen nutzbaren Raum umschließen und in einem unabhängigen Tragwerk installiert werden (z. B. Technikraumeinheiten oder Nasszellen) und (4) Modulares Bauen, bei dem die Elemente im Unterschied zu (3) selbst das Tragwerk darstellen und vor Ort nur noch die Montage erforderlich ist.

Für alle Varianten ist eine frühzeitige strategische Bauproduktionsausrichtung entscheidend, da sich die Gestaltung des Bauprozesses signifikant ändern kann [9, S. 75]. Dies gilt umso mehr, wenn Teile des Rohbaus (z. B. Stützen, Fertigteildecken oder andere Träger) vorgefertigt werden und Ausbauleistungen weiterhin vor Ort oder Teile der Ausbauleistungen (z. B. Nasszellen) bereits werksseitig erbracht werden. Insofern werden mit der Stufe der Vorfertigung auch produktionsrelevante Entscheidungen getroffen.

Üblicherweise obliegt es dem Unternehmer, eine Wahl hinsichtlich der einzusetzenden Ressourcen (Maschinen/ Geräte) und der Bauverfahrensweise zu treffen [5, S. 401]. Er besitzt die Methodenkompetenz in der Bauausführung und wird aus eigenem Interesse versuchen, die wirtschaftlichste Vorgehensweise umzusetzen. Durch die Entscheidung zur Vorfertigung wird diese Weichenstellung in die Planungsphase verlegt, da zu einem frühen Zeitpunkt entschieden werden muss, ob und wenn ja wie „vorgefertigt“ wird. Daher ist eine hohe Planungstiefe und ein frühzeitiges „Einfrieren“ der Planung notwendig, um wirtschaftlich agieren zu können [9, S. 86].

2.3 Zusammenhang zwischen Vorfertigungsgrad und Grad der Produktstandardisierung und -vielfalt

Als Vorfertigungsgrad definieren Staib et. al. (2008) „das Verhältnis der vorgefertigten Bauleistung zur gesamten Bauleistung“ [11, S. 41]. Der „Grad“ der Vorfertigung kann dabei stark variieren: Von einfachen, funktionssingulären Fertigteile (wie z. B. Türen oder Fenster) zu vollfunktionsintegrierten Raummodulen, die nach dem Baukastenprinzip nur noch am finalen Standort zusammengesetzt werden müssen. Ein hoher Vorfertigungsgrad führt in der Regel nur noch zu wenigen Montageprozessen und Komplettierungsarbeiten vor Ort [12, S. 36]. Aus wirtschaftlichen Aspekten gehen mit der

Verlagerung der Produktionsstätte zumeist Standardisierungsmethoden einher, um u. a. (teil-) automatisiert produzieren zu können und aufgrund der hohen Fixkosten der Fertigungsstätte wirtschaftlich zu agieren. Als Folge produktionsbedingter und wirtschaftlich begründeter Standardisierungen sinkt daher mit zunehmendem Vorfertigungsgrad zumindest qualitativ auch die Produktvielfalt.

Jonsson & Rudberg (2014) haben die von Gibb definierten Stufen der Vorfertigung in den Zusammenhang zwischen dem „Vorfertigungsgrad“ und dem „Grad der Standardisierung und der Produktvielfalt“ eingeordnet [13, S. 57] (Abb. 2-2) und hinsichtlich sechs Produktionsergebnisse („manufacturing outputs“) qualitativ bewertet: (1) Auslieferung (Lieferzeit), (2) Kosten (Produktkosten pro gelieferter Einheit), (3) Qualität (Konformität mit der Produktspezifikation), (4) Leistung (Kenndaten und Produktleistung im Vergleich zu ähnlichen Produkten), (5) Flexibilität (Produktvolumen und -vielfalt) und (6) Innovativität (Fähigkeit zur Einführung neuer oder veränderter Produkte) [13, S. 61].

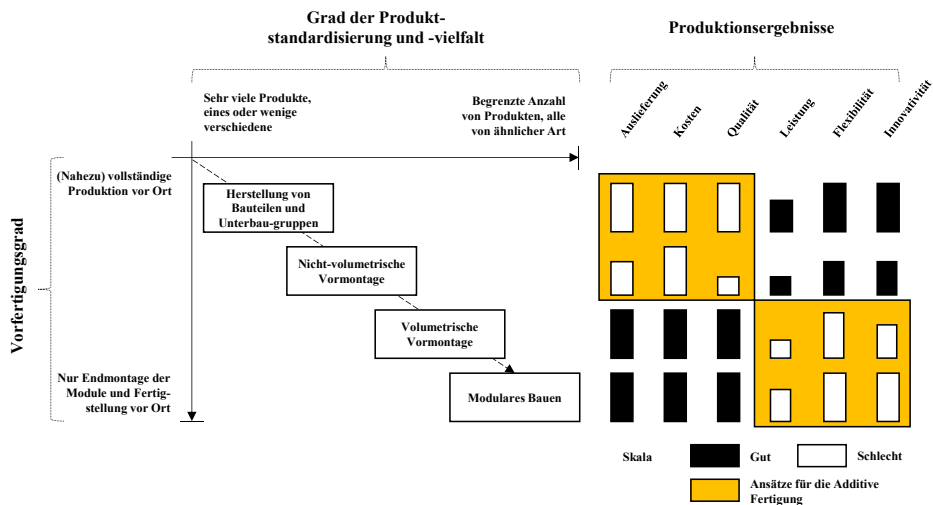


Abb. 2-2: Zusammenhang der Vorfertigungsgrads und des Grads der Produktstandardisierung und -vielfalt basierend auf [13, S. 61] (nachgezeichnet, Orangene Felder nicht im Original)

Wenngleich die Abgrenzung der „Produktionsergebnisse“ nach Jonsson & Rudberg (2014) nicht vollständig nachvollziehbar ist – u. a. wegen fehlender Begriffsdefinitionen und eindeutiger Beispiele – so spiegelt die qualitative Bewertung eine bekannte Tendenz wider: Einerseits werden der In-Situ Produktion gegenüber der Vorfertigung mit den derzeitigen Bauverfahrenstechniken eine längere Auslieferzeit (Bauzeit), höhere Kosten (u. a. da keine Skaleneffekte („Economies of Scale“)) und eine geringere Qualität (in Folge handwerklicher Produktion und Witterungsabhängigkeit) unterstellt [13, S. 60-61]. Andererseits wird von Teilen der im Bau tätigen Personen die Vorfertigungsstrategie (noch immer) kritisch bewertet. So gibt es Vorbehalte, Bauwerke seien nicht in größerem Maßstab standardisierbar oder mit vorgefertigten Elementen oder Raummodulen aus gestalterischer Sicht problematisch [9, S. 86], was sich in der (schlechten) Bewer-

tung der Flexibilität (Investitionskosten erfordern hohes Produktvolumen), Innovativität (produktionsbedingte Standardisierungen führen zu wenig neuen Formen) und Leistung (frühzeitiges „Einfrieren“ der Planung) zeigt [13, S. 60]. Dies gilt teilweise auch für die Einbindung vorgefertigter, nicht-volumetrischer Bauteile, die vor Ort die In-Situ Produktion ergänzen.

Aufgrund standardisierter Prozesse und der Fertigung unter geschützten Bedingungen kann durch eine **Vorfertigung** jedoch eine höhere Qualität (Bauteilqualität, technische Möglichkeiten, besseres Management des Produktionsprozesses), geringe Kosten (Arbeitssicherheit, höhere Produktivität, Skaleneffekte) und schnellere Auslieferung (geringe Bauzeit, effiziente Logistik) erzielt werden [13, S. 59].

3 Integration der additiven Fertigung in den Bauproduktionsprozess

Unter Beibehaltung gegenwärtiger produktorientierter Entscheidungen und konventioneller Verfahrenstechniken können die in den Bauproduktionsstrategien identifizierten **Defizite** allerdings nicht beseitigt werden. Wohl aber mit additiven Fertigungsverfahren, da die Ausrichtung industrieller Optimierungen nicht mehr Produkten, sondern Prozessen (bzw. der Produktion) gilt.

3.1 Charakteristika additiver Fertigungsverfahren

Additive Fertigungsverfahren lassen sich auf Grund ihrer besonderen Charakteristika nur bedingt in die zuvor erläuterten Denkstrukturen einordnen. Nach ASTM 52900 wird als „**additive Fertigung**“ der *„Prozess des Verbindens von Werkstoffen verstanden, um Bauteile aus 3D-Modelldaten – üblicherweise Schicht-für-Schicht – herzustellen“* [14, S. 6]. Bei additiven Fertigungsverfahren wird auf (nachträgliche) umformende (durch mechanische Druckanwendung wie Schmieden oder Pressen) und subtraktive (durch gezielte Entfernung von Material) Prozessschritte verzichtet. Bezogen auf die Anwendung innerhalb der Bauwirtschaft werden bspw. additiv gefertigte Betonbauteilen nicht länger durch Ein- und Ausschalen, sondern vom schalungsfreien Materialauftrag (und Geometrieaufbau) geprägt [15, S. 210]. Infolge des **schichtweisen Strukturaufbaus** bspw. von Betonbauteilen werden weniger Ressourcen benötigt (keine Schalungsmaterial oder Lohnstunden) und der Anteil nicht wertschöpfender Prozesse reduziert (Ein- und Ausschalen) [16, S. 32].

Mit additiven Fertigungsverfahren kann nahezu jedes Material verarbeitet werden: Plastik oder Lebensmittel, Metall oder Beton. Innerhalb der Bauwirtschaft wird sich bei der Anwendung der additiven Fertigung bislang vorzugsweise auf die „klassischen“ Materialien (Zement, Stahl, Holz) konzentriert. Jedoch werden auch weitere Materialien wie Polymere oder Wachs verwendet. Insbesondere für zementbasierte, additive Fertigungsverfahren sind besondere **material-technologische Eigenschaften** zu berücksichtigen, die eine gute „Druckbarkeit“ gewährleisten. In den meisten Fällen handelt es sich bei dem eingesetzten Material um eine Art (Hochleistungs-)Mörtel.

3.2 Additive Fertigungsverfahren im Betonbau

Der Einsatz additiver Fertigungsverfahren konzentriert sich im Bauwesen im Allgemeinen auf den Rohbau und im Besonderen auf den Betonbau. Mittels AF könnte die für den konventionellen Betonbau notwendige Schalung auch additiv bspw. auf Polymerbasis gefertigt und nachträglich manuell zu vergossen werden. Hierdurch wird jedoch nicht das verfahrenstechnische Potenzial vollständig ausgeschöpft, das Bauteil „direkt“ zu fertigen und auf die Verschwendung einer Schalung zu verzichten.

Auch wenn bei einer ganzen Reihe von durchgeführten Pilotprojekten ist der Versuch erkennbar, die Marktreife der AF-Verfahren zu bestätigen, ist in den meisten Fällen eine integrierte (automatisierte) Fertigung von Stahlbetonbauteilen noch nicht umsetzbar oder eine Integration von weiteren Materialien zur Funktionserfüllung (Dämmung, Schallschutz) bislang prozesstechnologisch schwierig. Die bisherigen Anwendungsbeispiele fokussieren sich daher auf die automatisierte Fertigung von vertikalen Betonbauteilen, vorwiegend Wände und Stützen (Beispiele in Abschnitt 4). Häufig wird dabei das Extrusionsverfahren angewendet, dass gegenüber dem Partikelbett die Fertigung größerer Schichten und Strukturen ermöglicht [17, S. 2]. Das Extrusionsverfahren ist eine Variante des selektiven Auftragens, bei der ein plastisch verformbarer Materialstrang entlang eines definierten Druckpfads abgelegt wird. Bei Verfahren des selektiven Bindens erfolgt der Aufbau des Baukörpers stets unter Nutzung eines Partikelbetts (Abb. 3-1).³

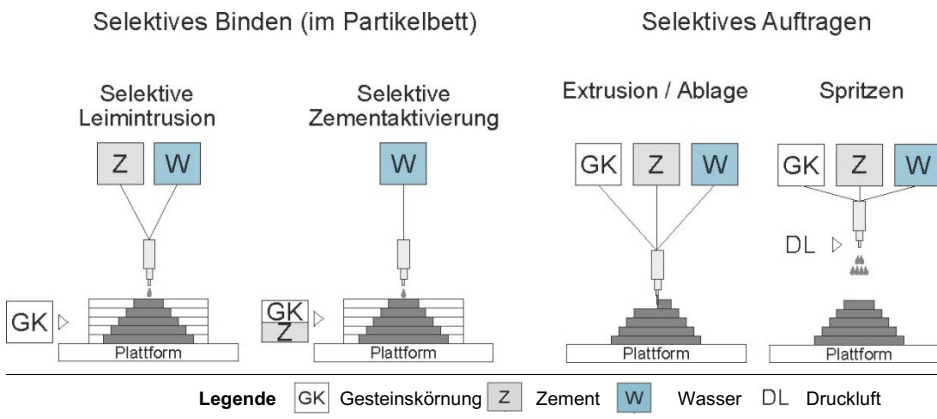


Abb. 3-1: Verfahren der additiven Fertigung in Anlehnung an [20, S. 32]

3.3 Besonderheiten des Fertigungsprozesses

Die bislang manuell erbrachte Wertschöpfung erfolgt bei additiven Fertigungsprozessen durch **Fertigungsanlagen und Roboter automatisiert**. Während Baustellen bislang vorwiegend durch Kraneinsatz (z. B. Turmdrehkran oder Autokran) oder andere Geräte (z. B.

³ Für eine tiefere Auseinandersetzung mit den verfahrenstechnischen Spezifika wird auf weiterführende Literatur verwiesen, vgl. [18, 19].

Autobetonpumpen oder Schalungen) geprägt waren, wird das zukünftige Bild von einer neuen Geräteart (Robotern) oder neuen (additiven) Fertigungssystemen geprägt sein. Die Ausprägung und die Bestandteile des additiven Fertigungssystems⁴ sind dabei stark abhängig vom zugrunde liegenden Verfahren und der verwendeten Materialien.

Additive Fertigungsverfahren bedürfen für einen direkten Strukturaufbau vom digitalen zum physischen Objekt daher eine **durchgängige digitale Prozesskette**. So ist für den „Druckprozess“ und zur Ableitung einer roboterorientierten Planung des „Druckpfads“ ein digitales Modell unentbehrlich (Vgl. auch [16, S. 81]). Zur Hervorhebung der fertigungstechnischen Möglichkeiten werden prototypische Bauteile oder Bauwerke häufig mit einer möglichst geschwungenen oder weitestgehend formfreien äußeren Gestaltung als auch einer inneren aufgelösten Tragstruktur gefertigt. Dabei bleibt für unterschiedliche Bauteilstrukturen der digitale Workflow gleich, während die Form der additiv gefertigten Struktur stets variieren kann. Folglich wird durch additive Fertigungsverfahren der **Prozess standardisiert**, nicht jedoch das Produkt [21, S. 812].

In der Folge wird bei der hochautomatisierten additiven Fertigung daher das Knowhow der Ausführung weiter in die Planungsprozesse verlagert. Es muss frühzeitig geplant werden, inwiefern ein Bauteil oder Bauwerk tatsächlich roboter-gestützt „druckbar“ ist. Die Bauteile werden durch die Prozessstandardisierung mit gleichbleibender Genauigkeit und Qualität gefertigt, sodass die Güte der Qualität vorwiegend vom additiven Fertigungsverfahren bzw. -system („3D-Drucker“) und den Umgebungsbedingungen abhängig ist.

4 Produktionsstrategische Veränderungen des Bauprozesses

Die Charakteristika und Verfahren der additiven Fertigung mit Beton können zu einer Reihe signifikanter Verbesserungen innerhalb des Systems „Bauprojekt“ und den unterschiedlichen Produktionsstrategien führen (vgl. auch [15]). Ausgehend von wirtschaftlichen Einsparpotenzialen, neuen gestalterischen Möglichkeiten oder erhöhter Ressourceneffizienz kann die AF zur Kompensation des Fachkräftemangels oder einer Erhöhung der Sicherheit von Bauarbeitern beitragen [22, S. 11-13]. Durch innovative Ansätze wie die Integration von digitalen Planungstools (z. B. Building Information Modeling (BIM)-Methode) oder vor allem von roboterbasierten Verfahren kann auch die Attraktivität der Bauindustrie für Neu- oder Quereinsteiger erhöht werden. In Analogie zur Bewertung der Vorfertigungsstufen nach Jonsson & Rudberg (2014) werden die sechs Produktionsergebnisse qualitativ eingeordnet.

4.1 Verschlinkung des In-Situ Produktionsprozesses

Eine Anwendung additiver Fertigungsverfahren im Rahmen der in-situ Produktionsstrategie bietet einen Ansatz Verbesserungen in den Bereichen Auslieferung, Kosten und Qualität zu erzielen. Infolge der AF-basierten Prozessstandardisierung können unterschiedliche geometrisch-komplexe „Unikatbauwerke“ ohne Produktivitätsverlust

⁴Die Bestandteile eines additiven Fertigungssystems sind im Wesentlichen ein Materialzufuhrsystem, ein Fertigungssysteme (Roboter) und ein Kontroll- und Steuerungssystem.

erstellt werden. Gekrümmte Wände können mit vergleichbarer Geschwindigkeit und ähnlichen Kosten wie gerade Wände hergestellt werden. Der Wegfall lohnintensiver Schalungsarbeiten vor Ort spart nicht Lohn- oder Materialkosten, sondern schont Ressourcen und verringert die Komplexität der Supply Chain (da z. B. weniger Ausgangsmaterialien erforderlich sind) (Abb. 4-1). Durch die robotergestützte additive Fertigung wird zugleich die Konformität der Produktspezifikationen, als die individuellen Kundenwünsche – unabhängig ob gerade oder gekrümmte Wände – wirtschaftlich erfüllt. Anstelle einer umfangreichen Schalungseinsatzplanung wird „lediglich“ der Druckpfad aus einem digitalen Modell abgeleitet.

4.2 Wirtschaftliche Vorfertigung individualisierter Fertigteile

Die individualisierte Vorfertigung von Betonfertigteilen wird derzeit noch immer von überwiegend handwerklichen Tätigkeiten geprägt, ist lohnstundenintensiv und durch laufende Anpassung der Schalungselemente verschwundungsreich. Die Vorfertigung standardisierter und wenig variantenreicher Fertigteile lässt sich teil-automatisiert mit herkömmlichen Methoden vergleichsweise wirtschaftlich umsetzen. Mittels additiver Fertigungsverfahren können ohne eine produktionsbedingte Standardisierung oder Umrüstarbeiten der Maschinen auch individualisierte Fertigteile wesentlich flexibler und wirtschaftlicher gegenüber konventionellen Verfahren der Vorfertigung hergestellt werden. Durch die Prozessstandardisierung bei additiven Fertigungsverfahren wird eine nahezu vollständig individualisierte Vorfertigung von nicht-volumetrischen und volumetrischen Elementen ermöglicht.

Additive Fertigungsverfahren werden im Rahmen von Forschungsarbeiten und zur Sicherstellung gleicher Versuchsbedingungen häufig unter kontrollierter Umgebung (Werk) angewendet. Damit kann die additive Fertigung auch als Weiterentwicklung der konventionellen Fertigteilproduktion (off-site CC) in Form der off-site AM eingesetzt werden und Verbesserungen in den Bereichen Leistung (hoher Anteil wertschöpfender Prozesse), Flexibilität (bspw. durch fehlende Umrüstarbeiten und hohe Produktvielfalt im Fertigteilbau) und Innovation (bspw. durch hohe Individualität der Bauteile) erzielen (Abb. 4-2, Abb. 4-3 u. Abb. 4-4).

Beispiele für die In-Situ Produktion unter Herstellung einzelner Elemente und Teilmontage von Bauteilen, für die eine Vor-Ort Herstellung unüblich ist



Abb. 4-1.: Erstellung eines Rohbaus mittels Extrusion-Verfahren unter Einbau von vorgefertigter Elemente wie bspw. Türen oder Fenster. Die zur additiven Fertigung eingesetzten System gehören zu:

v. l. n. r.: ICONbuild [23], Peri [24], Apis Cor [25]

Beispiele für die Nicht-Volumetrische Vorfertigung mittels AF



Abb. 4-2: v. l. n. r.: Doppelt-gekrümmte Stahlbeton basierend auf dem SC3DP-Verfahren [26], Mitte: Individualisierte Betonstützen hergestellt mittels Partikelbett-Verfahren [27], Betonstütze hergestellt mittels Extrusion-Verfahren in Fachwerk-Form [28].

Beispiele für die Volumetrische Vorfertigung mittels AF



Abb. 4-3: Das weltweit erste 3D-gedruckte Bürogebäude „Office of the Future“ in Dubai (Mitte) [29]. Die äußere Tragstruktur wurde vorgefertigt (gedruckt) und vor Ort zusammengesetzt und ausgebaut (links) [30]. Auf der rechten Seite ist ebenfalls ein von der chinesischen Firma WinSun vorgefertigtes Gebäude [31].

Beispiele für das Modulares Bauen mittels AF



Abb. 4-4: v. l. n. r.: Vorgefertigte Quarantäne-Zellen von WinSun zur Ergänzung von Krankenhäusern mittels Extrusion-Verfahren auf Zementbasis [32] sowie Raumzellen von Mighty Buildings Extrusionsverfahren allerdings auf Basis von *photopolymerem* Material, das durch UV-Licht aushärtet [33].

4.3 Erweiterung der Produktionsstrategien durch die On-Site Produktion

Die bisherigen produktionsstrategischen Erweiterungen basieren bereits auf bekannten Ideen. Bislang hat es nur wenige (konventionelle) Versuche gegeben, für eine Baumaßnahme eine temporäre Fabrik auf der Baustelle oder in naher Umgebung einzurichten.

In den meisten Fällen sind derartige Überlegungen beispielsweise auf Grund fehlender Flächen nicht umsetzbar, durch erforderliche Standardisierung von Bauteilen nicht flexibel genug oder wirtschaftlich nicht zu rechtfertigen. Zukünftig dürfte eine zusätzliche Bauproduktionsstrategie zur Wahl und Ausrichtung des Bauproduktionsprozesses zur Verfügung stehen: die Vorfertigung vor-Ort (on-site AM) (vgl. auch [15]).

Additive Fertigungsverfahren bieten durch ihrer Kompaktheit der Bestandteile (Fertigungsroboter, Materialzufuhrsystem und Kontroll- und Steuerungseinheit) die Möglichkeit auch vor Ort wirtschaftlich eine Vielzahl nicht-standardisierter Bauteile zu produzieren, sodass auf lange Transportwege verzichtet werden kann. In der Folge müssen die Bauteile nicht zusätzlich für die während des Transportprozesses, sondern nur für die während der Montage auftretenden Lastfälle dimensioniert werden. Die bisherigen Lösungen funktionieren nach dem Prinzip „Factory in a Box“ (Abb. 4-5): Dabei werden bspw. kleinskalige Bauteile aus Metall oder Kunststoff in einem Container hergestellt. Für die additive Fertigung von Fertigteilen aus Beton oder anderen Materialien für das Bauwesen sind bislang keine Konzepte bekannt.

Beispiele für eine On-Site Produktionsstrategie



Abb. 4-5: Mobile Smart Factory (links) für additiven Fertigung von Metall- und Kunststoffteilen [34] und Odico Formwork Robotics (rechts) zur subtraktiven Fertigung von Schalungselementen [35].

5 Zusammenfassung

Die additive Fertigung ist eine neue Verfahrenstechnik für das Bauwesen. Der Einsatz der additiven Fertigung bietet nicht nur Möglichkeiten zur Verbesserung der Produktionsergebnisse der beiden bekannten Produktionsstrategien „In-Situ Produktion“ oder „Vorfertigung“, sondern eine Erweiterung der produktionsstrategischen Ausrichtung bei der Gestaltung des Bauproduktionsprozesses durch die „On-Site Produktion“. Infolge der verfahrenscharakteristischen Flexibilität der additiven Fertigung kann zukünftig bei der Analyse und Zergliederung der Bauaufgabe aus einem breiten Portfolio an strategischen Ausrichtungen des Produktionssystems gewählt werden. Durch die weitgehende Automatisierung des Ausführungsprozesses und der damit verbundenen Verlagerung des Knowhows in die Planungsphase ist die Wahl einer Bauproduktionsstrategie frühzeitig durchzuführen. Im Vergleich zu den von konventionellen Bauverfahrenstechniken geprägten Produktionsstrategien eröffnen die Charakteristiken der additiven Fertigung vielfältige Möglichkeiten. Die Integrationsansätze der additiven Fertigung in drei unter-

schiedlichen Bauproduktionsstrategien verdeutlichen die Bedeutsamkeit einer frühzeitigen Einbindung auszuführender Unternehmen in die Planung, die Schaffung einer durchgängigen Prozesskette vom digitalen Modell bis zum physischen Objekt auf Basis einer integralen Planung und vor allem den Paradigmenwechsel zu bisherigen Planungs- und Konstruktionsprinzipien.

6 Dank

Diese Forschung wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 414265976 – TRR 277 gefördert. Der Autor dankt der DFG für die Unterstützung im Rahmen des SFB/Transregio 277 – Additive Manufacturing in Construction (Teilprojekt C06).

7 Literatur

- [1]Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, *Anteil der Bauinvestitionen an der Verwendung des Bruttoinlandsprodukts* in Deutschland im Jahr 2020: (verglichen mit anderen Bereichen)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/151966/umfrage/deutsche-bauwirtschaft-eingeordnet-im-bruttoinlandsprodukt/> (Zugriff am: 22. März 2022).
- [2]Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, *Produktivität im Bau(haupt)gewerbe - ein statistischer Befund*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/auf-den-punkt-gebracht/produktivitaet-im-bauhauptgewerbe> (Zugriff am: 22. März 2022).
- [3]B. García de Soto *et al.*, „Productivity of digital fabrication in construction: Cost and time analysis of a robotically built wall“, *Automation in Construction*, Jg. 92, Nr. 2, S. 297–311, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.04.004.
- [4]T. Uhlendorf, *Strategien des Komplexitätsmanagements bei Bauprojekten als Basis zur Beherrschung von Änderungen*. Dissertation. Braunschweig: Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2020.
- [5]G. Girmscheid, „Bauproduktionstheorie - Strukturrahmen“, *Bauingenieur*, Heft 09, S. 397–403, 2007.
- [6]Jürgen Kirsch, *Organisation der Bauproduktion nach dem Vorbild industrieller Produktionssysteme: Entwicklung eines Gestaltungsmodells eines Ganzheitlichen Produktionssystems für den Bauunternehmer*. Dissertation. Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009.
- [7]G. Girmscheid, *Industrielles Bauen*. Vorlesungsmanuskript. [Online]. Verfügbar unter: https://www.cttconsulting.ch/Dokumente/SkripteBauprzMgmt/Skript_Industrielles%20Bauen.pdf (Zugriff am: 22. März 2022).
- [8]G. Girmscheid, „Industrielle Bauprozesse“ in *Strategisches Bauunternehmensmanagement: Prozessorientiertes integriertes Management für Unternehmen in der Bauwirtschaft*, G. Girmscheid, Hg., 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010, S. 525–551, doi: 10.1007/978-3-642-14195-9_8.
- [9]P. Schwerdtner, F. Kumlehn und J. Schütte, *Kostengünstiger Wohnungsbau: Identifikation bestehender Hemmnisse für den Einsatz von Raummodulen im Wohnungsbau*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2018.

- [10] A. G. F. Gibb, „Standardization and pre-assembly - distinguishing myth from reality using case study research“, *Construction Management and Economics*, Jg. 19, Nr. 3, S. 307–315, 2001, doi: 10.1080/01446190010020435.
- [11] G. Staib, *Elemente und Systeme: Modulares Bauen - Entwurf, Konstruktion, neue Technologien*. Basel: Birkhäuser, 2013.
- [12] Sonja Geier, *Analysemodell für das vorgefertigte Bauen mit Holz: Lösungsansatz zur Einschätzung, und zum Umgang mit Komplexität.: Argumentarium - Entwicklung - Anwendung*. Dissertation. München. [Online]. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1415118/1415118.pdf>
- [13] H. Jonsson und M. Rudberg, *Classification of production systems for industrialized building: a production strategy perspective*, *Construction Management and Economics*, Jg. 32.
- [14] *Additive Fertigung - Grundlagen - Terminologie*, DIN EN ISO / ASTM 52900, Berlin.
- [15] G. Placzek und P. Schwerdtner, „Ableitung von Integrationsansätzen des „Beton-3D- Drucks“ in den Bauprozess anhand von Merkmalen der additiven Fertigung“, *Bauwirtschaft*, Jg. 5, Nr. 4, 208–222, 2020.
- [16] M. Krause, *Baubetriebliche Optimierung des vollwandigen Beton-3D-Drucks*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021.
- [17] N. Hack, I. Dressler, L. Brohmann, S. Gantner, D. Lowke und H. Kloft, „Injection 3D Concrete Printing (I3DCP): Basic Principles and Case Studies“ (eng), *Materials (Basel, Switzerland)*, Jg. 13, Nr. 5, 2020, doi: 10.3390/ma13051093.
- [18] V. Mechtcherine und V. N. Nerella, „Beton-3D-Druck durch selektive Ablage“, *Beton- und Stahlbetonbau*, Jg. 114, Nr. 1, S. 24–32, 2019, doi: 10.1002/best.201800073.
- [19] D. Lowke, E. Dini, A. Perrot, D. Weger, C. Gehlen und B. Dillenburger, „Particle-bed 3D printing in concrete construction – Possibilities and challenges“, *Cement and Concrete Research*, Jg. 112, S. 50–65, 2018, doi: 10.1016/j.cemconres.2018.05.018.
- [20] H. Kloft *et al.*, „Additive Fertigung im Bauwesen: erste 3-D-gedruckte und bewehrte Betonbauteile im Shotcrete-3-D-Printing-Verfahren (SC3DP)“, *Bautechnik*, Jg. 96, Nr. 12, S. 929–938, 2019, doi: 10.1002/bate.201900094.
- [21] G. Placzek *et al.*, „A Lean-based Production Approach for Shotcrete 3D Printed Concrete Components“, *Proceedings of the 38th ISARC*, S. 811–818, 2021, doi: 10.22260/ISARC2021/0110.
- [22] S. El-Sayegh, L. Romdhane und S. Manjikian, „A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges, and risks“, *Archiv. Civ. Mech. Eng.*, Jg. 20, Nr. 2, S. 4, 2020, doi: 10.1007/s43452-020-00038-w.
- [23] E. Tucker, „Is 3D printing the future of affordable housing?“, *The Spaces*, 15. März 2019, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://thespaces.com/is-3d-printing-the-future-of-affordable-housing/>. Zugriff am: 23. März 2022.633Z.
- [24] J. Baumann, „3D-Druck-Haus: Eine Idee für den nachhaltigen Wohnungsbau“, *G-Pulse*, 8. März 2021, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://g-pulse.de/3d-drucker-haus>. Zugriff am: 23. März 2022.347Z.
- [25] Apis Cor, *World's Largest 3D Printed Building | Apis Cor*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.apis-cor.com/dubai-project> (Zugriff am: 23. März 2022.584Z).
- [26] N. Hack und H. Kloft, „Shotcrete 3D Printing Technology for the Fabrication of Slender Fully Reinforced Freeform Concrete Elements with High Surface Quality: A Real-Scale Demonstrator“ in *RILEM Bookseries, Second RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, F. P. Bos,

S. S. Lucas, R. J.M. Wolfs und T. A.M. Salet, Hg., Cham: Springer International Publishing, 2020, S. 1128–1137, doi: 10.1007/978-3-030-49916-7_107.

[27]A. Anton, L. Reiter, T. Wangler, V. Frangez, R. J. Flatt und B. Dillenburger, „A 3D concrete printing prefabrication platform for bespoke columns“, *Automation in Construction*, Jg. 122, S. 103467, 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103467.

[28]N. Gaudillière *et al.*, „Large-Scale Additive Manufacturing of Ultra-High-Performance Concrete of Integrated Formwork for Truss-Shaped Pillars“ in *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2018*, J. Willmann, P. Block, M. Hutter, K. Byrne und T. Schork, Hg., Cham: Springer International Publishing, 2019, S. 459–472, doi: 10.1007/978-3-319-92294-2_35.

[29]WebUrbanist, *World's First 3D-Printed Office Building Unveiled in Dubai*. [Online]. Verfügbar unter: <https://weburbanist.com/2016/05/26/worlds-first-3d-printed-office-building-unveiled-in-dubai/> (Zugriff am: 23. März 2022.829Z).

[30]Winsun 3D Builders, *3D Printed Office in Dubai - Winsun 3D Builders*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.winsun3dbuilders.com/project/3d-printed-office-in-dubai/> (Zugriff am: 23. März 2022.116Z).

[31]The Guardian, „3D printer builds houses in China - Video“, *The Guardian*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.theguardian.com/technology/video/2014/apr/29/3d-printer-builds-houses-china-video>. Zugriff am: 23. März 2022.

[32]V. Carlota, „Winsun 3D prints isolation wards to curb coronavirus outbreak“, 26. Feb. 2020, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.3dnatives.com/en/winsun-coronavirus-260220205/>. Zugriff am: 23. März 2022.388Z.

[33]Forbes, *Mighty Buildings Raises \$40 Million For Sustainable, Certified 3D Printed Housing*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.forbes.com/sites/sarahgoehrke/2021/02/09/mighty-buildings-raises-40-million-for-sustainable-certified-3d-printed-housing/?sh=72e1682026c8> (Zugriff am: 23. März 2022.544Z).

[34]Mobile Smart Factory, „A factory in a box“, *Mobile Smart Factory*, 17. Apr. 2020, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://mobile-smart-factory.com/>. Zugriff am: 23. März 2022.592Z.

[35]Odico - Construction Robotics, *Factory on the Fly*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=vsfQhKzpN7k> (Zugriff am: 23. März 2022.854Z).

Optimization of Predictions in TIM Using Sensordata opTI-Mus – Stand der Forschung

Schneiderbauer Larissa ¹, Loacker Larissa ¹, Salzgeber Hannah ¹, Harder Manfred ¹, Glab Kathrin ¹

¹ Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau (iBT), Universität Innsbruck, Larissa.schneiderbauer@uibk.ac.at

Kurzfassung

Vor dem Hintergrund der Digitalisierung im Tunnelbau werden zunehmend 3-dimensionale Modelle erstellt und mit georeferenzierten Metadaten versehen, um das Tunnelbauwerk sowie den Tunnelbauprozess digital zu erfassen und zu optimieren. Das digitale Abbild des Tunnelprojektes, das Tunnel Information Modeling (TIM) unterteilt sich in drei Teilmodelle: das Baugrundmodell, das Bauwerksmodell und das Bauprozess- bzw. Baustellenmodell. In situ Randbedingungen der Tunnelbaustelle werden dabei vermehrt über Sensordaten erfasst, um den Bauprozess mit größtmöglicher Präzision abzubilden und weiter zu optimieren. Auf Basis der Sensordaten werden Prognosemodelle mittels Künstlicher Intelligenz (KI) erstellt, welche konkrete Zielwerte für den Bauprozess, wie beispielsweise die Vortriebsgeschwindigkeit, vorhersagen können. Diese Zielwerte, die auf den Randbedingungen des aktuellen Bauprozesses beruhen, werden wiederum in TIM zurückgespielt, wo eine Anpassung der Bauzeit, der Baukosten sowie der Nachhaltigkeit der Baustelle vorgenommen wird. In der vorliegenden Publikation wird der Stand der Forschung hinsichtlich Baugrund- und Prozessmodellierung vorgestellt sowie die bisherigen Ergebnisse diskutiert. Zudem wird ein Ausblick über die KI-Prognosemodelle und die Einbindung in TIM gegeben.

Schlagwörter: Baugrundmodellierung, Prozessmodellierung, Tunnel Information Modelling TIM, 6D-Modellierung;

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	256
2	Methode.....	256
2.1	Baugrundmodellierung.....	257
2.2	Prozessmodellierung.....	261
3	Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse.....	265
4	Ausblick.....	266
4.1	Ausblick Modell-Koordination	266
4.2	Ausblick 6-D Modellierung.....	268
5	Anmerkungen.....	268
6	Literaturverzeichnis	269

1 Einleitung

Ein Teilaspekt der Digitalisierung im Bauwesen ist die Erfassung von Tunnelbauprozessen und In situ Randbedingungen in Echtzeit. Eine stetig wachsende Anzahl an Sensoren sammeln Informationen über den Tunnelvortrieb, Baugrund, Logistik sowie Informationen anderer intelligenter Systeme auf der Baustelle. Zunehmend werden Informationen mittels automatisierter Datenanalysemodelle ausgewertet, welche Design- und Prozessoptimierungen von maschinellen Tunnelvortrieben ermöglichen. Die Daten werden in Baugrundmodellen und Bauprozessmodellen abgebildet, die während des Vortriebs an die realen Gegebenheiten auf der Baustelle sowie auf den tatsächlichen Bauprozess angepasst werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts *opTIMus* werden digitale Datenmodelle erstellt, welche relevante geotechnische und vortriebstechnische Daten in automatisierte Datenanalysemodelle exportieren sollen. Ziel ist es, die digitalen Modelle während des Vortriebs an die angetroffenen Verhältnisse automatisiert anzupassen. Das Gesamtprojekt wird durch mehrere Teilmodelle, welche miteinander koordiniert werden, abgebildet. Eine wesentliche Herausforderung dabei ist die Verknüpfung der dynamischen Modelle untereinander sowie die verlustfreie und eindeutig georeferenzierte Informationseinbindung von Sensordaten. Im vorliegenden Artikel wird diese Thematik aufgegriffen und ein möglicher Ansatz eines effizienten Rückflusses von Sensordaten ins Modell zur Dokumentation der Ist-Verhältnisse und zur Weiterverarbeitung für Prognosen mittels KI aufgezeigt.

2 Methode

Als Grundlage für den Artikel und für die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts *opTIMus* dienen Ausschreibungsunterlagen sowie Planungsangaben eines sich derzeit im Vortrieb befindlichen Tunnelbauprojekts. Der Tunnel wird mithilfe einer Mixshield-Tunnelbohrmaschine im Lockergestein aufgefahren. Um das zugrundeliegende Ziel der automatisierten Anpassung von digitalen Modellen auf die vorherrschenden Verhältnisse zu erreichen, werden unterschiedliche Modellierungssoftwaretools und deren Schnittstellen zueinander analysiert und so mögliche Lösungsansätze zur dynamischen Anpassung von TIM aufgezeigt.

Die Bearbeitung des Forschungsprojekts *opTIMus* erfolgt in drei Arbeitspaketen, welche im Wesentlichen die Unterteilung der drei zugrundeliegenden digitalen Modelle widerspiegeln: Baugrundmodellierung, Prozessmodellierung und KI-Prognosemodellierung. Nach der Filterung und intensiven Aufbereitung der bereitgestellten Unterlagen erfolgt im ersten Arbeitspaket die Modellierung des Baugrundes mit Einbindung von für die Vortriebsprognose relevanten Attributen aus den Bereichen der Geologie und Geotechnik. Aufgrund der Option unterschiedlicher Ansätze zur Baugrundmodellierung werden zwei dieser Methoden mit zwei unterschiedlichen Modellierungssoftwaretools verfolgt. Neben der rein geometrischen Repräsentation des Baugrundes liegt der Fokus

auf der georeferenzierten Einbindung von baugrundspezifischen Attributen auf Tunnel-ebene. Dieses Paket resultiert in einem Baugrundmodell, welches für die Prognosemodellierung im dritten Arbeitspaket als Datenbasis herangezogen werden soll.

Im zweiten Arbeitspaket wird analog zum ersten Arbeitspaket das Ziel eines digitalen Datenmodells verfolgt, welches prozessrelevante Daten aus dem Vortrieb abbildet und im weiteren Schritt für die Optimierung der Vortriebsprognose verarbeitet werden kann. Dies erfordert die Festlegung von prozessrelevanten Parametern, welche mit dem Vortrieb in Verbindung stehen und für die Vortriebsprognose relevant sind. Außerdem wird die Rückkopplung dieser Informationen durch fiktive Sensordaten und somit eine (teil-) automatisierte Anpassung dieser Werte berücksichtigt.

Das dritte Arbeitspaket, welches sich zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Artikels in Bearbeitung befindet, behandelt die Verknüpfung der digitalen Datenmodelle für den Baugrund und der Prozessmodellierung, um damit eine Optimierung der Vorhersage auf Basis der Vortriebsgeschwindigkeit mithilfe eines KI-Prognosemodells zu erzielen.

Als zugrundeliegende Methode für die Bearbeitung der Arbeitspakete wird die Scrum-Methode angewendet. In kleinen und sich wiederholenden Schritten, sog. Sprints, werden die Aufgaben bearbeitet, um die Kommunikation im Projektteam zu intensivieren und mögliche Problemquellen leichter identifizieren zu können.

2.1 Baugrundmodellierung

Das Datenmodell soll den Baugrund des Projektes in seiner ersten Prognose des Geologen widerspiegeln und darstellen. Auch wenn die Zusammensetzung des Baugrunds von Projekt zu Projekt nie ident sein wird, sollen durch die Erkennung von potenziellen Mustern, Handlungs- und Lösungsstrategien für wiederkehrende Situationen festgelegt werden. Dies soll in Zukunft die Entscheidungsfindung beträchtlich unterstützen. Weiters können auch anfänglich erstellte Prognosen mit der angetroffenen Realität verglichen werden, was nicht nur für zukünftige Annahmen interessant ist, sondern auch in der Leistungsabrechnung eine tragende Rolle übernehmen kann.

Es sind drei Ansätze zur Baugrundmodellierung zu unterscheiden: CAD-basierte Baugrundmodellierung, geologische 3D-Modellierung und GIS-basierte Modellierung. Für das vorliegende Forschungsprojekt werden die zwei erstgenannten Ansätze mit den Softwarelösungen Civil 3D der Firma Autodesk für die CAD-basierte Modellierung und Leapfrog Works der Firma Seequent für die Geologische 3D-Modellierung verfolgt.

2.1.1 Datenaufbereitung

Ein wesentlicher Schritt, bevor mit der Modellierung begonnen werden kann, ist die Aufbereitung der zur Verfügung stehenden Daten. Je nach Projektstatus und Datenerstellung handelt es sich hierbei um Erkundungsdaten oder bereits interpretierte Planungsunterlagen in Form von PDFs oder Rohdaten in Form von CSV-Dateien o.Ä. Zur Vorbereitung der Datengrundlage für die Modellierung zählen u.a. die Einhaltung eines einheitlichen Zeichen- und Maßsystems (z.B. feet und cm) oder die Festlegung und ggf. notwendige Transformation der Daten auf ein einheitliches Koordinatensys-

tem. Bei langen Linienbauwerken kann es beispielsweise durch fehlerhafte Berücksichtigung der Erdkrümmung zu beträchtlichen Abweichungen kommen.

Außerdem sind die Daten in Abhängigkeit des gewählten Baugrundmodellierungsansatzes unterschiedlich aufzubereiten. Die Basis der CAD-basierten Modellierung des Baugrunds stellt das digitale Geländeoberflächenmodell (tif), die Koordinaten der Tunnelachse, sowie der geologische Längs- und Subhorizontalschnitt dar. Im Gegensatz dazu bilden die Bohrlochdaten für die geologische 3D-Modellierung die notwendige Grundlage.

2.1.2 Modellerstellung

CAD-basierte Modellierung

Für die CAD-basierte Modellierung wird der geologische Längs- und Subhorizontalschnitt verwendet, um das 3D-Baugrundmodell zu erstellen. Hierfür müssen die Schnitte digital abgebildet werden, sofern sie in analoger Form vorliegen, und anschließend lagerichtig zusammengeführt werden. Daraus können dann die Gesteinsschichtgrenzen als Flächen nachmodelliert und in weiterer Folge Volumenkörper generiert werden.

Mithilfe des Geländeoberflächenmodells wird ein Volumenkörper erzeugt und dieser mit den Gesteinsschichtgrenzen des geologischen Längs- und Subhorizontalschnitts in einzelne Teile geschnitten, um so das Baugrundmodell als 3D-Abbild der Geologischen Vorerkundung zu erhalten. Für Gesteinsschichten, bei welchen keine durchgängige Schnittfläche modelliert werden kann, wie z.B. bei Einschlüssen oder Schichten, welche nicht bis zur Geländeoberfläche reichen, wird direkt aus den Schichtengrenzen ein Volumenkörper erzeugt und aus dem übergeordneten Geländeoberflächenvolumenkörper herausgeschnitten.

Um in weiterer Folge geologische und geotechnische Attribute auf Tunnelebene für die Vortriebsprognose in das Modell einbinden zu können, wird der Ausbruchquerschnitt entlang der Tunnelachse als 3D-Volumenkörper erzeugt. Die weitere Vorgehensweise zur Attribuierung und der zugrundeliegende Leitansatz werden in 2.1.3 näher beleuchtet.

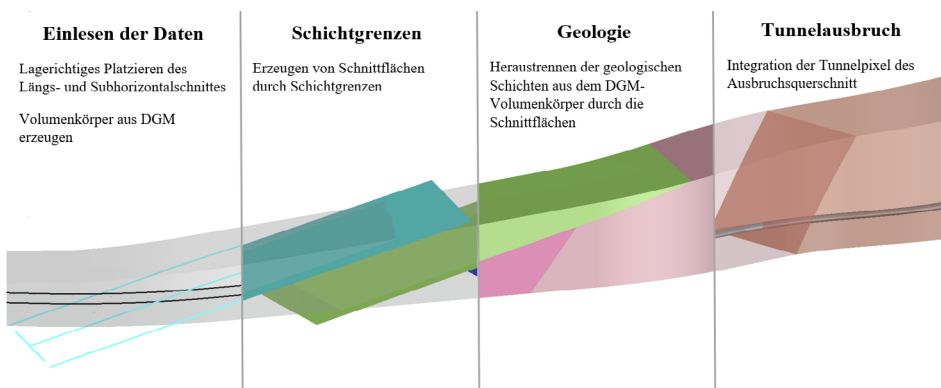


Abbildung 2-1: Workflow zur CAD-basierten Baugrundmodellierung

Geologische 3D-Modellierung

Im Gegensatz zur CAD-basierten Modellierung erfolgt die geologische 3D-Modellierung nicht anhand des bereits interpretierten Längs- und Subhorizontalschnitts, sondern die entsprechende Software benötigt als Eingangsdaten für die Baugrundmodellierung Bohrlochdaten aus Vorauserkundungen. Anhand dieser Daten wird der Baugrund mittels geeigneter Funktionen angenähert. Ein Beispiel für eine solche Approximation ist die RBF (radial basis function, radiale Basisfunktion). Die Informationen der Bohrlöcher (Geologie, RQD, UCS, etc.) werden als Punkt- und Textdateiformat sowie als AGS und GINT Daten importiert. Anschließend kann die Software mit einer eingeschränkten Anzahl an manuell anpassbaren Optionen, wie der Reihenfolge der Gesteinsschichten, der Schieferung oder Begrenzungslinien, den Baugrund mithilfe der Näherungsfunktion interpretieren. Das Resultat dieses vorwiegend automatisierten Prozesses ist das 3D Baugrundmodell.

Für den nächsten Schritt der georeferenzierten Attribuierung auf Tunnelebene wird wiederum ein Ausbruchsquerschnitt entlang der Tunnelachse erstellt. Ein entsprechender Lösungsansatz wird im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

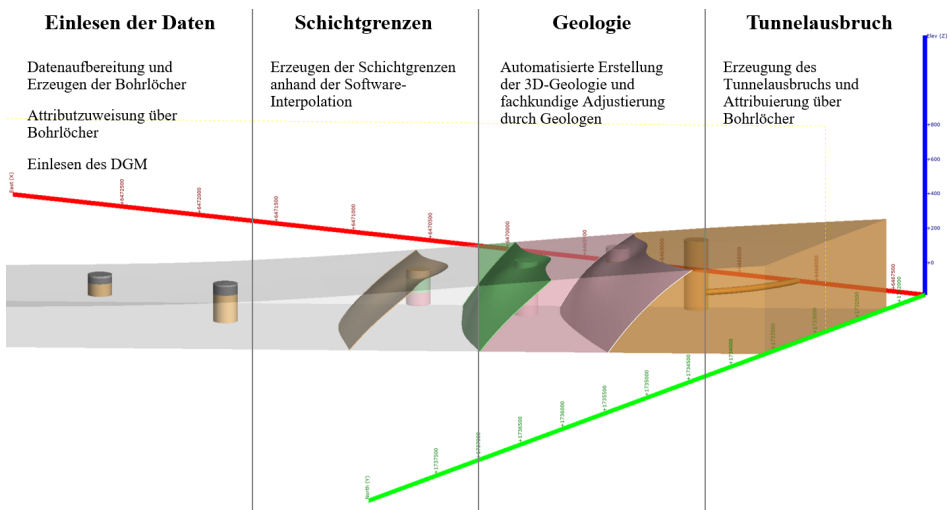


Abbildung 2-2: Workflow zur Geologischen 3D-Baugrundmodellierung

2.1.3 Einbindung von Attributen

Neben der rein geometrischen Repräsentation des Baugrunds in Form von Volumenkörpern je Gesteinsschicht macht die Einbindung von geologischen und geotechnischen Informationen zu den einzelnen Schichten das Baugrundmodell erst auswertbar und interpretierbar.

Grundlage dafür ist eine strukturierte, datenbankbasierte Verwaltung der Informationen mit Verlinkung und örtlicher Zuordnung im Modell. [1] Mit Hinblick auf die grundlegende Zielsetzung des Forschungsprojektes auf die Verknüpfung der einzelnen Modelle wurde lediglich eine geringe Detailtiefe und damit eine begrenzte Auswahl an

geotechnischen Eigenschaften getroffen, wie die Festigkeitswerte UCS, RQD, Kohäsion sowie der innere Reibungswinkel.

CAD-basierte Modellierung

Für die CAD-basierte Modellierung in Civil 3D erfolgt die Zuweisung von Attributen zum Baugrundmodell über sog. PSets (Parametersets), welche den einzelnen Bauteilgruppen zugeteilt werden können. Die PSets setzen sich aus mehreren Parametern bzw. Eigenschaften zusammen, wobei jedem Parameter pro Bauteil nur ein konkreter Wert zugewiesen werden kann.

Da die jeweiligen Eigenschaften innerhalb einer Gesteinsschicht variieren ist die Zuweisung zum übergeordneten Volumenkörper wenig sinnvoll. Aus diesem Grund wird das Konzept des Tunnelpixels verfolgt (vgl. Abbildung 2-3: Konzept des Tunnelpixels als Wissenspeicher). Der Tunnelpixel stellt die kleinste Einheit dar, welche jede darauf aufbauende, größere Einheit abbilden kann und eignet sich deshalb bestens für die georeferenzierte Beschreibung des Baugrundes durch geologische und geotechnische Eigenschaften. Die festgesetzte Länge des Tunnelpixels kann in Abhängigkeit der projektspezifischen, geforderten Informationsdichte frei gewählt werden, z.B. entsprechend der Tübbingbreite im maschinellen Tunnelvortrieb. [2]

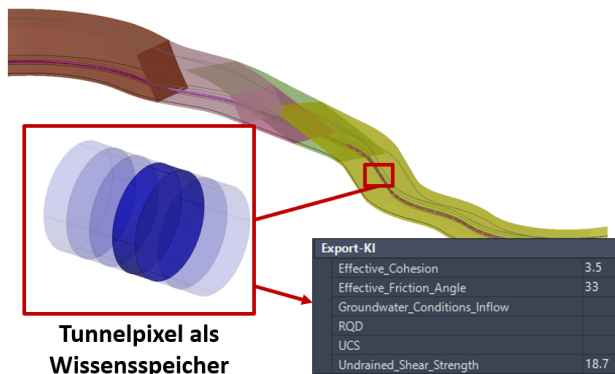


Abbildung 2-3: Konzept des Tunnelpixels als Wissenspeicher

Den Tunnelpixeln, welche wie die übergeordnete Gesteinsschicht als Volumenkörper modelliert werden, werden zunächst die „leeren“ Parameter durch ein PSet mit zuvor definierten Attributen zugewiesen, um dann im weiteren Schritt mit den konkreten Werten befüllt zu werden. Hierfür eignet sich ein automatisiertes Vorgehen mithilfe eines entsprechenden Dynamo-Skripts. Dynamo ist ein Werkzeug für Civil 3D und Revit, welches mithilfe visueller Programmierung zur Automatisierung von Aufgaben, zum Erstellen komplexer Geometrien und dgl. eingesetzt wird.

Um das vollständig attribuierte Baugrundmodell für weiterführende Prognose mithilfe eines KI-Modells heranziehen zu können, sind lediglich die georeferenzierten Metadaten notwendig. Aus diesem Grund wird das attribuierte Baugrundmodell in ein alpha-numerisches Datenblatt in Matrizenform, z.B. als CSV-Datei exportiert. Dieser Schritt erfolgt wiederum mit einem entsprechenden Dynamo-Skript.

Geologische 3D-Modellierung

Analog zur Erstellung der Geometrie erfolgt die Zuweisung von Attributen bei der geologischen 3D-Modellierung über die Bohrlöcher. Dazu werden für die einzubindenden Attribute eigene „Attributmodelle“ erzeugt, welche auf den Bohrllochdaten basieren. Diese sind gleichbedeutend mit dem Geologiemodell, mit dem einzigen Unterschied, dass sie anstatt der Information der Geologie, eine andere Information beinhalten (z.B. UCS, RQD, Scherfestigkeit, etc.). Diese werden dann mit dem Geologiemodell kombiniert. Dadurch enthält das kombinierte Modell die Information der Geologie und der Attribute.

Aufgrund der Anforderung eines georeferenzierten Metadatenmodells für die KI-Prognose auf Tunnelebene wird ein Ausbruchsquerschnitt entlang der Tunnelachse mithilfe eines fiktiven Bohrlochs erstellt. Der Lösungsansatz der Attribuierung auf Tunnelebene über Tunnelpixel wird nicht weiterverfolgt, da sich die Einteilung in Tunnelpixel mit der verwendeten Software als schwierig und nicht zielführend herausgestellt hat.

2.2 Prozessmodellierung

Die Prozessmodellierung, welche dem zweiten Arbeitspaket des Forschungsprojekt *opTIMus* entspricht, umfasst die Abbildung aller Prozesse, und dessen Komponenten, welche mit dem Vortrieb in Verbindung stehen. Das dabei entstehende Modell soll Sensordaten, welche durch die Tunnelbohrmaschine aufgezeichnet werden, (teil-) automatisiert als hinterlegte Parameterwerte abspeichern. Somit dient das Prozessmodell als Wissensspeicher, welcher fortlaufend mit neuen Daten befüllt werden kann und dadurch den aktuellen Stand der Ausarbeitung in digitaler Form widerspiegelt.

Um Daten im Modell georeferenziert hinterlegen zu können, muss zunächst ein Objekt erstellt werden, dem Metadaten zugewiesen werden können. Für das Prozessmodell wird hierfür, analog zum Baugrundmodell, ein Tunnelpixel modelliert, der dem Ausbruchsvolumen entspricht. Diese Objekte können dann entlang der Achse platziert werden. Die Objektlänge definiert gleichfalls die Detailtiefe des Modells, denn die gemessenen Sensordaten innerhalb dieses Abschnittes werden durch **einen** repräsentativen Wert als Parameter hinterlegt. Hier wurde ein Abschnitt mit einer Tübbing Länge definiert.

Für die Erstellung des Modells wurde die Software Revit von Autodesk verwendet. In den nachfolgenden Kapiteln werden der Ablauf und das Ergebnis der Prozessmodellierung beschrieben.

2.2.1 Datenaufbereitung

Vor dem Start der Modellierung müssen allgemeine Rahmenbedingungen festgelegt und fixiert werden:

- Festlegung der Software
- Festlegung und Integration der Projektparameter innerhalb der Familie
- projektspezifische Anpassung der Dynamo Skripte
- Aufbereitung von Koordinaten und Projektparametern als Excel, CSV oder Datenbank

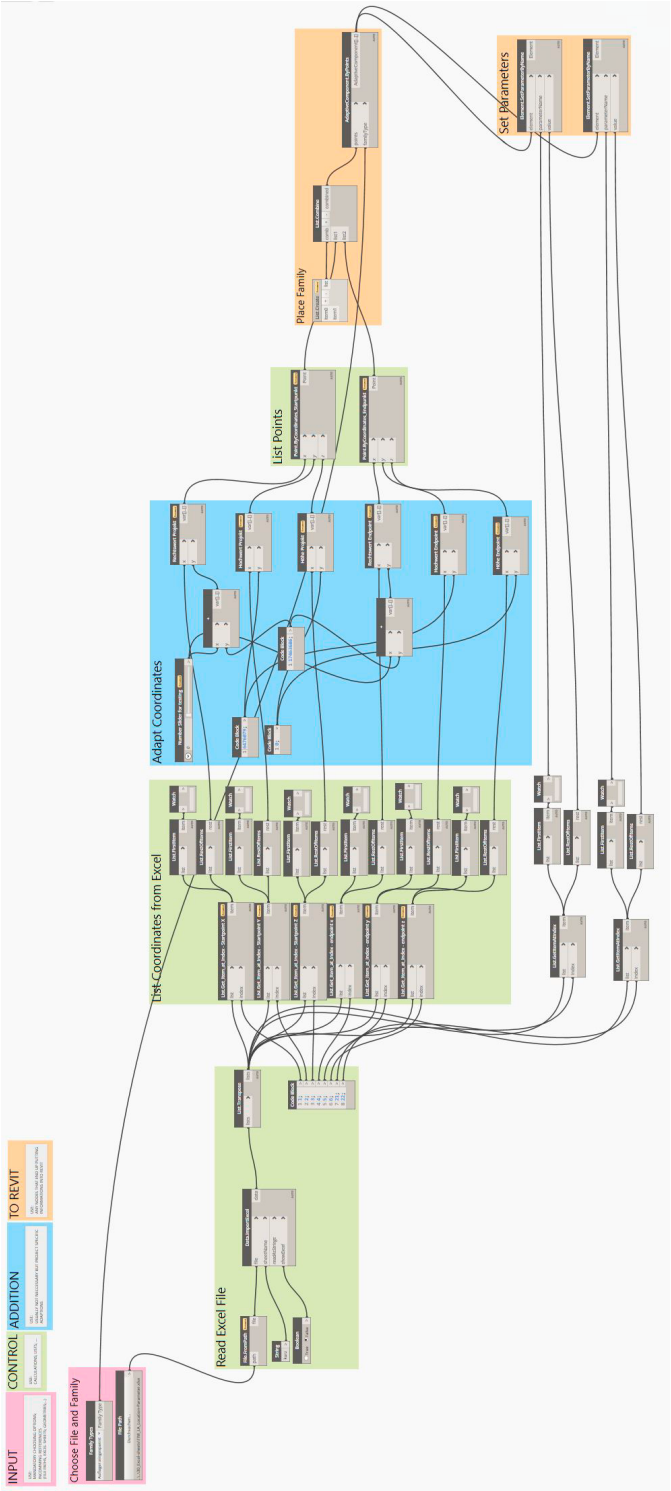


Abbildung 2-4: Dynamo-
skript zur Erstellung der
Tunnelpixel in Revit

Maschinendaten werden als Matrix in einer Excel Liste oder CSV Datei aufbereitet, um eine dynamische Modellierung mittels Dynamo Skript zu ermöglichen. Dabei werden die Daten als Listen strukturiert, gefiltert und verarbeitet, sodass ein Ausbruchsquerschnitt lagerichtig mittels Achsdaten platziert und die Maschinendaten in den Familienparameter im Objekt hinterlegt werden.

2.2.2 Dynamo

Dynamo ist ein Werkzeug der visuellen Programmierung und ein fester Bestandteil der Autodesk Produkte Civil3D und Revit. Es können komplexe Geometrien erzeugt, parametrische Systeme aufgebaut, Berechnungen durchgeführt und Daten aus Datenbanken, oder herkömmlichen Textdateien, bi-direktional synchronisiert werden. Für die Prozessmodellierung werden zwei Skripte erstellt, welche gemeinsam zur Modellierung beitragen.

TIM_PlaceFamilyAndSetParameter

Das erste Dynamo Skript wird dazu verwendet, die in der Excelliste vorhandenen Koordinaten für Start und Endpunkt abzugreifen und die adaptive Familie zu platzieren. Weiters werden die platzierten Familien nochmals angesprochen und mit den in der Excel aufgelisteten Parametern befüllt. Ein Skript wird im Allgemeinen **einmal** erstellt und im Anschluss projektspezifisch angepasst oder adaptiert.

TIM_ChangeParameter

Ein weiteres Skriptum soll ausgewählte Familienparameter an einen aktuelleren Datenstand (z.B. durch Einbindung aktualisierter Sensordaten) anpassen. Über Listen werden die Familien wieder aufgerufen und dessen Parameter auf den neuen Wert verändert. Diese Skripte stellen den aktuellen Lösungsansatz dar zum Platzieren und Verändern von Modelldaten.

2.2.3 Dynamische Modellierung

Ein erstes Prozessmodell kann bereits in der Planungsphase erstellt werden. Dabei dienen die in der Planung festgelegte Tunnelachse und Berechnungsgrundlagen für den Vortriebsprozess als Basis der Modellvisualisierung. Im weiteren Projektverlauf wird dann dieses Planungsmodell laufend mit „as-built“ Sensordaten befüllt und dementsprechend angepasst.

Schritt 1:

Alle zu Projektbeginn definierten Parameter werden als gemeinsame Projektparameter erstellt und in die Ausbruchsfamilie integriert. Das Basisdynamo Skript wird um die projektspezifischen Parameter erweitert und die Excel Liste, CSV Datei oder eine Datenbank mit den Informationen welche zu hinterlegen sind, sowie den Achsdaten erstellt.

Schritt 2:

Ein neues Projekt wird in Revit angelegt, der Vermessungspunkt und der Projekt-Basispunkt projektspezifisch verschoben und die Familie in das neue Projekt geladen.

Schritt 3:

Die Tunnelachse wird als Liste von Koordinatenpunkte, oder als Polylinie mittels dem Dynamo Skript (TIM_PlaceFamilyAndSetParameters) eingelesen und die Ausbruchsfamilie somit im Projekt platziert. Mittels des Skriptes kann auch gleich der GUID der erstellten Familien ausgelesen und innerhalb der Excel abgespeichert werden. Mit diesen Schritten ist die Modellierung des Designmodells schon abgeschlossen.

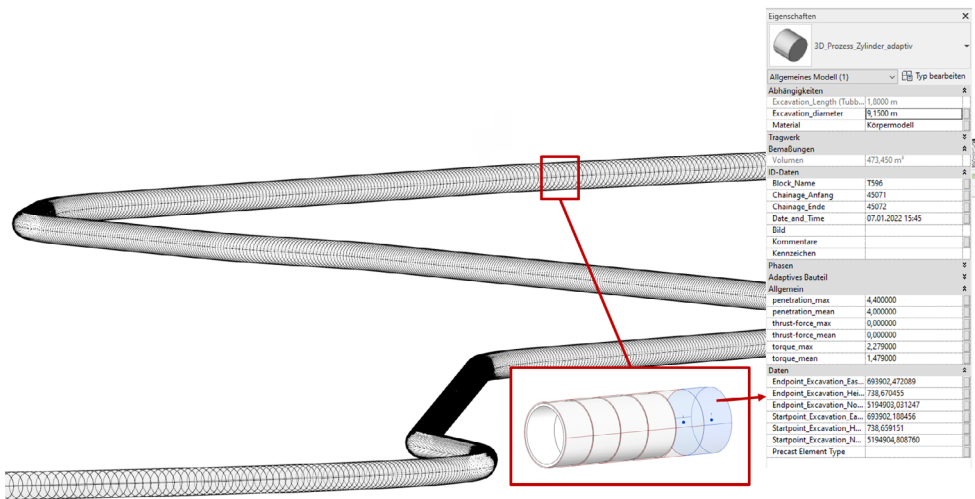


Abbildung 2-5: Platzieren der Ausbruchsquerschnitte mit Designwerten

Schritt 4:

Im weiteren Projektverlauf soll das „as-built“ Modell entstehen. Dabei werden keine neuen Ausbruchsquerschnitte platziert, sondern durch Einlesen der Sensordaten in die Designfamilien das Designmodell abschnittsweise angepasst.

Dies erfolgt durch ein weiteres Dynamo Skript (TIM_ChangeParameter), welches die Designparameterwerte innerhalb der Familien mittels Sensordaten ersetzt und diese somit zu „as-built“ Familien werden.

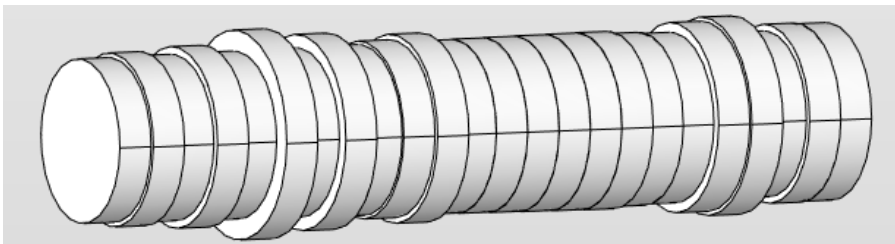


Abbildung 2-6: Beispielhafte Überschreibung des Ausbruchsvolumen mit realen Sensordaten

Schritt 5:

Mit dem Hinterlegen der Sensordaten soll auch eine Überarbeitung (neue Prognose) der Designparameter folgen. Mithilfe von Künstlicher Intelligenz sollen zum Beispiel Muster oder Situationen erkannt werden, welche im weiteren Projektverlauf eventuell wieder angetroffen werden und somit eine verbesserte Prognose für den weiteren Projektverlauf erzielt werden. Dies wird immer wieder als Zyklus durchlaufen um mit ansteigender Menge an Sensordaten, bessere Prognosen für den zukünftigen Projektverlauf errechnen zu können.

3 Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse

Als Ergebnis des ersten Pakets „Baugrundmodellierung“ wurde eine Vergleichsmatrix (siehe Abbildung 3-1) zwischen den Ansätzen CAD-basierte Modellierung und geologische 3D-Modellierung erarbeitet. Die Vorgehensweise zur Erstellung eines Baugrundmodells unterscheidet sich in den beiden untersuchten Softwaretools grundlegend. Je nach Zielsetzung für die Baugrundmodellierung differiert die empfohlene Modellierungsmethode.

Bereits bei der Aufbereitung der notwendigen Datenbasis ergeben sich aufgrund der Voraussetzungen der Eingangsangaben zur Baugrundmodellierung wesentliche Unterschiede. Während bei der CAD-basierten Modellierung der geologische Längs- und Subhorizontalschnitt als Datengrundlage zur Begrenzung der Gesteinsschichten dienen, sind Bohrlochdaten aus Vorauserkundungen die erforderliche Basis für die geologische 3D-Modellierung.

Die Erstellung der dreidimensionalen Repräsentation des Baugrunds erfolgt bei beiden Modellierungsansätzen mithilfe von Volumenkörpern. Die Begrenzung der Gesteinsschichten kann bei der CAD-basierten Modellierung punktgenau durch die Trennschichtmodellierung bestimmt werden. Voraussetzung dabei ist die bereits vorhandene grafische Darstellung der Schichtgrenzen in Form von Längs- und Subhorizontalschnitt. Eine exakte Bestimmung der Schichtgrenzen ist aufgrund der automatisierten Interpolation bei der geologischen 3D-Modellierung nicht möglich und die Adjustierung der Schichtgrenzen erfordert mehrere Iterationsschritte.

Als wesentliche Erkenntnisse des ersten Arbeitspakets sind zwei Punkte hervorzuheben. Zum einen spielt die Verfügbarkeit und Bereitstellung der Datengrundlage eine tragende Rolle für die Durchführbarkeit der Baugrundmodellierung. Die Datenbasis sollte in digitaler Form und idealerweise als Quelldatei bzw. im nativen Datenformat vorliegen. Außerdem ist es notwendig die Basisdaten auf ein einheitliches Bezugssystem abzustimmen (z.B. übereinstimmende Koordinatensysteme oder Maßeinheiten), um eine unnötige Fehlerquelle zu vermeiden.

	CAD-basierte Modellierung	Geologische 3D-Modellierung	Herausforderungen
Basis Daten- grundlage	Geologischer Längs- und Subhorizontalschnitt	Bohrlochdaten	❖ Datenverfügbarkeit
	Koordinaten, Geländemodell		❖ Verschiedene Koordinatensysteme
	Attributzuweisung auf Tunnelpixel	Attributzuweisung über Bohrlöcher	❖ Zuordnung Attribute
Metadatenexport	Alphanumerisches Datenblatt in Matrizenform z.B. Excel Dateien (.csv)		
Grafischer Datenexport	IFC-Schnittstelle (.ifc)	Object Files (.obj) und IFC-Schnittstelle (.ifc)	❖ Schnittstellen
Baugrundmodell	Nachmodellierung	Interpretation des Baugrunds	❖ Abhängigkeit Zielsetzung & Datengrundlage

Abbildung 3-1: Vergleichsmatrix

Des Weiteren kann durch die Gegenüberstellung der beiden Methoden zur Baugrundmodellierung festgestellt werden, dass die Praktikabilität und die Durchführbarkeit der Methoden sehr stark von der zugrundeliegenden Zielsetzung für die Baugrundmodellierung und der vorhandenen Datengrundlage abhängig sind. Aufgrund der gegebenen Zielsetzung eines Baugrund-Datenmodell mit georeferenzierten Attributen zur Vortriebsprognose wird die CAD-basierte Modellierung bevorzugt und somit das Konzept des Tunnelpixels auch im zweiten Arbeitspaket weiterverfolgt. Im Gegensatz dazu eignet sich die geologische 3D Modellierung vorrangig für die Interpretation von Vorauserkundungen durch den fachkundigen Geologen.

4 Ausblick

In einem weiteren Schritt werden nun diese beiden Modelle als Datenbasis mit einem Prognosemodell verknüpft. Das Ergebnis der Prognose wird dann in die Modelle übertragen, um die Bauzeit, die Baukosten sowie die Nachhaltigkeit des Projektes entsprechend anzupassen.

4.1 Ausblick Modell-Koordination

Durch die Bearbeitungen von Arbeitspaket I und II können bereits wesentliche Erkenntnisse für die systematische und verlustfreie Koordination von dynamischen Modellen für den Baugrund und den Bauprozess gewonnen werden.

Um diese Koordination zwischen den Komponenten (Datenmodelle, Sensordaten, etc.) zu veranschaulichen, wird in Abbildung 4-1: Workflow und Koordination der TIM-Modelle der Prozess der Erstellung und dynamischen Anpassung der Datenmodelle dargestellt.

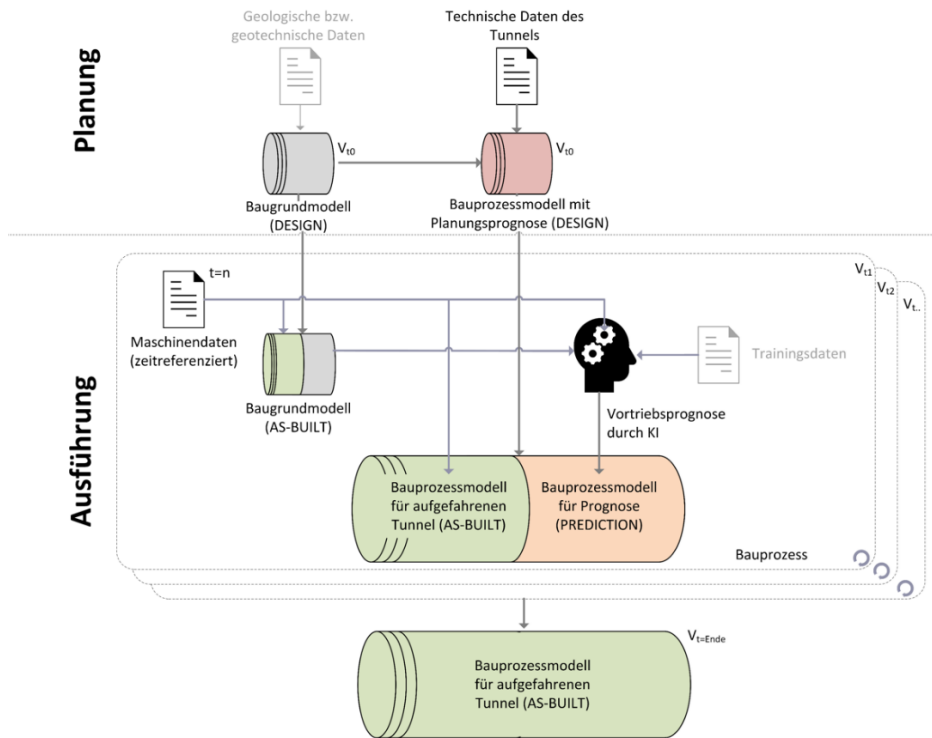


Abbildung 4-1: Workflow und Koordination der TIM-Modelle

Als Basis für die Prognosemodelle dienen die georeferenzierten Datenmodelle aus der Planungsphase. Diese werden zum eindeutigen Verständnis als *Design-Modelle* definiert und bilden den Planstand noch vor Ausführungsbeginn ab. Während der Ausführungsphase werden zeit- und georeferenzierte Maschinen- und Sensordaten erfasst, welche die insitu-Bedingungen abbilden. Es ist davon auszugehen, dass die Bedingungen zumindest in Teilbereichen von der Planung abweichen, sodass mithilfe dieser Daten die Teilstrecke der Design-Modelle des aufgefahrenen Tunnels aktualisiert und dokumentiert werden. Diese werden als *As-Built-Modelle* bezeichnet.

Neben der Dokumentation werden die Maschinendaten auch für die Vortriebsprognose durch eine KI herangezogen. Diese noch nicht aufgefahrene und mit auf der KI-Prognose basierenden Informationen aufbereitete Teilstrecke des Tunnels wird als *Prediction-Model* definiert. Beim Einbinden der Vortriebsdaten in der Ausführungsphase handelt es sich um einen iterativen Prozess, der als Ergebnis das vollständige As-built-Modell und somit die vollständige Dokumentation der Ist-Verhältnisse liefert.

4.2 Ausblick 6-D Modellierung

Ziel für die Prozessmodellierung ist es, eine 6D-Modellierung zu erstellen, in der die Zeit, die Kosten und die Nachhaltigkeit enthalten sind. Die Integration dieser Informationen soll wiederum durch Einbindung von Parametern für die einzelnen Tunnelpixel erfolgen.

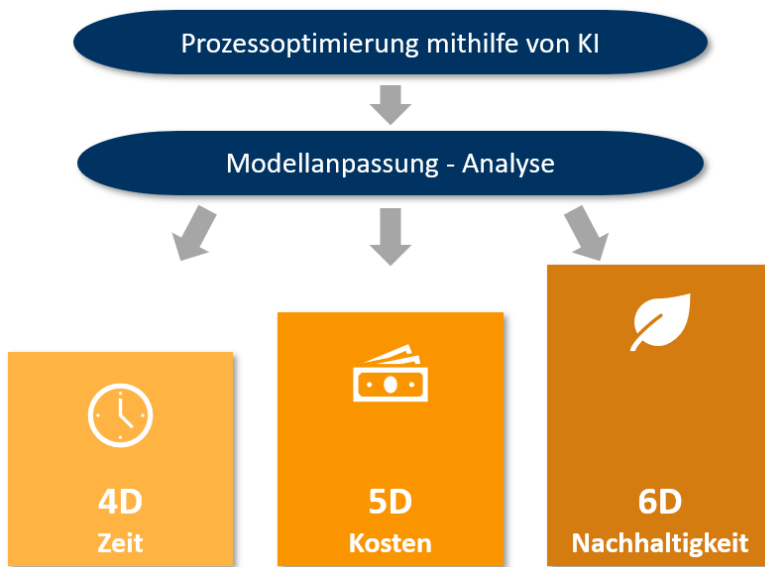


Abbildung 4-2: Ausblick 6D-Modellierung

5 Anmerkungen

Diese Forschungsarbeit ist der Teil der Stiftungsforschung am Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau (iBT), der Universität Innsbruck. Zu den Hauptzielen der Stiftungsprofessur zählt die Entwicklung eines ganzheitlichen Tunnelinformationsmodells, eines sogenannten digitalen Zwillings, und dessen praktische Umsetzung und Validierung an bedeutenden Infrastrukturprojekten in Europa. Wir danken allen Förderern der Stiftungsprofessur, ohne welche dieses Forschungsvorhaben nicht möglich gewesen wäre.

6 Literaturverzeichnis

- [1]G. Fröch, M. Flora, W. Gächter, F. Harpf, und A. Tautschnig, *Anwendungsmöglichkeiten eines digitalen Baugrundmodells im Tunnelbau*, Bautechnik, Bd. 96, Nr. 12, S. 885–895, Dez. 2019, doi: 10.1002/bate.201900080.
- [2]H. Exenberger, *Entwicklung eines digitalen parametergestützten Baugrundmodells - Konzeptentwicklung und Anwendungsbeispiel*, Masterarbeit, Universität Innsbruck, 2020.
- [3]M. Flora, T. Weiser, P. Zech, A. Fontana, A. Ruepp, K. Bergmeister, *Mehrwerte im maschinellen Tunnelvortrieb durch intelligente Systeme*, Geomechanics and Tunnelling Volume 14, Issue 5, Aug. 2021.
- [4]K. Glab, K. Glück, M. Flora, A. Heim, G. Wehrmeyer, *BIM aus Sicht des Lösungsanbieters für den maschinellen Tunnelbau*, Tunnelbau Taschenbuch 2023, in Druck.

Wirtschaftlichkeit von kooperativen Projektabwicklungsmodellen

Julian Schütte¹, Axel Fricke²

¹ Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb – Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, j.schuette@tu-braunschweig.de

² Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb – Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, ax.fricke@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Die zunehmende Anwendung kooperativer Projektabwicklungsmodelle, insbesondere als Pilotprojekte bei öffentlichen Bauvorhaben, gibt Anlass, sich mit der Wirtschaftlichkeit dieser Projektabwicklungsmodelle zu beschäftigen. Die jeweiligen Initiatoren versprechen sich wirtschaftliche Vorteile aus der Anwendung von kooperativen Projektabwicklungsmodellen, für die bislang messbare Ergebnisse als Beleg fehlen. In diesem Beitrag werden Fragestellungen aufgeworfen, die zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit zu beantworten sind. Der Beitrag liefert erste Ansätze zur quantitativen Bewertung der Wirtschaftlichkeit insbesondere von IPA-Projekten als ein beispielhaftes kooperatives Projektabwicklungsmodell. Von der Übertragbarkeit auf andere kooperative Projektabwicklungsmodelle wird ausgegangen, dennoch bedarf es an dieser Stelle weiterer Untersuchungen und einer Konkretisierung der hier vorgeschlagenen Ansätze.

Schlagwörter: Integrierte Projektabwicklung, Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, kooperative Projektabwicklungsmodelle

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	272
2	Integrierte Projektabwicklung	273
2.1	Charakteristika der Integrierten Projektabwicklung.....	273
2.2	Phasen der Integrierten Projektabwicklung.....	274
3	Wirtschaftlichkeit von IPA-Projekten	275
3.1	Definition von Wirtschaftlichkeit.....	275
3.2	Potenzielle Auswirkungen auf die Projektabwicklung.....	276
3.3	Thesen zu potenziellen Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit	279
4	Ansätze zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit	280
4.1	Maßgebende Fragestellungen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit.....	280
4.2	Systematik der Untersuchung zur Generierung quantitativer und qualitativer Ergebnisse	284
5	Zusammenfassung.....	286
6	Literaturverzeichnis	286

1 Einleitung

Die Reformkommission Bau von Großprojekten hat im Rahmen ihrer Analyse von Großprojekten mit Kosten- und Terminüberschreitungen unterschiedliche Ansätze erarbeitet, mit deren Verwirklichung zukünftigen Fehlentwicklungen in Großprojekten entgegengewirkt werden kann. Einer dieser Ansätze besteht in der Kooperation und partnerschaftlichen Zusammenarbeit der Beteiligten. [1, S. 11]

Im angelsächsischen Raum existieren seit geraumer Zeit unterschiedliche Projektabwicklungsmodelle, welche im Gegensatz zur eher konfrontativ geprägten konventionellen Projektabwicklung eine Kooperation der Projektbeteiligten fördern sollen. Diese Modelle, wie bspw. „integrated project delivery (IPD)“, wurden auf den deutschen Markt übertragen und in zahlreiche Varianten abgewandelt. Eine daraus entstandene Variante ist zum Beispiel der als „Integrierte Projektabwicklung (IPA)“ bekannt gewordene Ansatz, der in verschiedenen Ausprägungen Anwendung findet.

Die Anwender versprechen sich von der Abwicklung von Projekten mit IPA neben einer Reduzierung von Kosten eine Steigerung der Ausführungsqualität sowie höhere Terminsicherheit. [2, S. 12] Analytische Untersuchungen, die diese Thesen belegen, existieren nicht. Zwar wurden sie teilweise qualitativ von den Projektbeteiligten und durch vielversprechende Kennwerte der (Pilot-)Projekte im In- und Ausland bekräftigt. Jedoch liegen keine detaillierten, quantitativen Analysen vor, auf deren Basis die positiven Auswirkungen substantiiert auf den Einsatz der IPA zurückgeführt werden können.

Der vermehrte (und größtenteils erfolgreich scheinende) Einsatz dieser und anderer kooperativer Projektabwicklungsmodelle im privatwirtschaftlichen Kontext führt auch zur Anwendung von IPA bei Aufträgen der öffentlichen Hand. Die öffentlichen Auftraggeber sind – unter Einhaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen, z. B. des Vergabe- und Vertragsrechts – dazu verpflichtet, die wirtschaftlichste Projektabwicklung zu wählen und dies zu belegen. Bisher stehen für die Prüfung der Wirtschaftlichkeit der IPA, weder den privaten noch den öffentlichen Auftraggebern, fundierte Erkenntnisse zur Verfügung. In diesem Beitrag sollen Ansätze aufgezeigt werden, wie die Wirtschaftlichkeit der IPA beurteilt werden könnte.

Das konkrete Ziel dieser Veröffentlichung ist es, Fragestellungen zu entwickeln, die durch den Bauherrn zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit der IPA beantwortet werden müssen. Um dieses Ziel zu erreichen werden zunächst die IPA Charakteristika definiert und potenzielle Vorteile, die in der einschlägigen Literatur behauptet werden, herausgearbeitet. Aufbauend auf diesen theoretischen Vorteilen werden Thesen abgeleitet, welche im Sinne von Ursachen-Wirkungs-Zusammenhängen potentielle Auswirkungen der IPA auf die Wirtschaftlichkeit der Projekte darstellen. Anschließend werden Fragestellungen entwickelt und diskutiert, die zur Prüfung dieser Thesen heranzuziehen sind. Abschließend werden Vorschläge zu einer Systematik und deren Bestandteilen gegeben, auf deren Basis quantitative und qualitative Ergebnisse generiert werden könnten.

2 Integrierte Projektabwicklung

2.1 Charakteristika der Integrierten Projektabwicklung

Bei der in diesem Abschnitt angestrebten Definition der IPA wird sich auf die grundlegenden Charakteristika von IPA bezogen, die durch das IPA-Zentrum¹ für den DACH-Raum definiert wurden. Das IPA-Zentrum unterscheidet acht Charakteristika, die gemäß der Definition allesamt erfüllt sein müssen, damit von einer IPA gesprochen werden kann (siehe Abb. 2-1). Die Sortierung der acht Charakteristika stellt keine Rangfolge dar, sodass alle Elemente als gleichwertig zu betrachten sind. [3, S. 3]

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	8 Kooperative Haltung der Beteiligten

Abbildung 2-1: Übersicht der Charakteristika für die Integrierte Projektabwicklung (IPA) [3, S. 3]

Die vertragliche Grundlage eines IPA-Projekts bildet demnach immer ein Mehrparteiensystem (mit Mehrparteienvertrag), das alle Schlüsselbeteiligten für Planung und Ausführung einbindet. Auf diese Weise sollen die Beteiligten auf die gemeinsamen Projektziele ausgerichtet werden und eine Grundlage für eine gemeinsame Verantwortungs- (bzw. Risikotragung) für das Projekt geschaffen werden. Die Schlüsselbeteiligten sind dabei möglichst frühzeitig und mittels eines Kompetenzwettbewerbs einzubinden. Hierin unterscheidet sich IPA elementar von den konventionellen Abwicklungsmethoden, bei denen i. d. R. eine strikte Trennung von Planung und Ausführung erfolgt und bei der Auftragsvergabe ein Preiswettbewerb durchgeführt wird. Der Kompetenzwettbewerb zielt dabei nicht nur auf die Auswahl von potenziell fachlich versierten Partnern ab, sondern soll zusätzlich insbesondere deren Fähigkeit zur kooperativen Projektabwicklung im Team berücksichtigen. [3, S. 6 f.]

Die aus dem Mehrparteienvertrag entstehende gemeinsame Risikotragung bzw. ein gemeinsames Risikomanagement fördert die frühzeitige, gemeinsame Identifikation und

¹ Das Kompetenzzentrum für Integrierte Projektabwicklung (IPA), auch „IPA-Zentrum“ genannt, ist lt. eigener Aussage die zentrale Plattform, um Projektbeteiligte in der Bauwirtschaft zu befähigen, mit Modellen der IPA komplexe Bauvorhaben erfolgreich zu realisieren. Das Ziel des IPA-Zentrums ist dabei die Schaffung einer Plattform für den Austausch zu und die Förderung von IPA in der Bauwirtschaft.

Bewertung von Chancen und Risiken. Im Zuge der Festlegung des Leistungsinhalts und der Zielkosten ist zu bestimmen, welche Risiken beim Bauherrn verbleiben und welche Risiken vom IPA-Team übernommen werden. Zu treffende Entscheidungen hinsichtlich der Umsetzung von Maßnahmen zur Risikoabwehr/Chancennutzung werden einvernehmlich abgestimmt. Die Einvernehmlichkeit bzw. Einstimmigkeit gemeinsamer Entscheidungen ist dabei ein weiteres definierendes Charakteristikum von IPA-Projekten. Aufgrund der gemeinsamen Verantwortung für das Projekt müssen auch Entscheidungen gemeinsam getroffen werden. Diese Entscheidungen sollen dabei i. d. R. auf der Arbeits- bzw. Projektebene im Projektteam erarbeitet werden. [3, S. 8 f.]

Die frühzeitige Einbindung der Projektbeteiligten bietet ferner die Möglichkeit, gemeinsame Zielkosten durch alle Partner im Rahmen der Konkretisierung der Projektziele zu erarbeiten und zu bestätigen. Darauf aufbauend kann für die Erreichung der Projektziele ein Anreizsystem im Rahmen des Vergütungssystems mit Bonus/Malus Regelungen etabliert werden. In diesem Vergütungssystem wiederum werden die eingetretenen Risiken aus dem gemeinsamen Risikomanagement gemeinsam finanziell getragen. Die eingetretenen Risiken werden dabei, wie auch die Vergütung an sich, auf Basis der tatsächlich entstandenen Kosten vergütet. Dabei hängt die Höhe der Auszahlung bestimmter, vorher definierter Vergütungsanteile (insbesondere des Gewinns) vom Erfüllungsgrad der Projektziele und dem Eintritt und der Bewältigung von Risiken und Chancen ab. Die hohe Transparenz, die bei einem solchen Vergütungsmodell notwendig ist, wird durch den konsequenten Einsatz kollaborativer Arbeitsmethoden geschaffen. [3, S. 10 f.]

Sollten Konflikte aufkommen, sind diese mit lösungsorientierter Konfliktbearbeitung auf Arbeitsebene bzw. auf einer etwaigen Managementebene zu lösen. Erst bei ergebnislosem Ablauf der internen Konfliktlösung soll auf außergerichtliche Streitbeilegungsverfahren, die vertraglich festgelegt wurden, zurückgegriffen werden. Die kooperative Haltung der Projektbeteiligten, das achte Charakteristikum, soll die interne wie auch die externe Konfliktlösung begünstigen. Um ein IPA-Projekt erfolgreich durchzuführen sind gemeinsame Werte und die Ausrichtung des Verhaltens eines jeden Projektbeteiligten auf diese Werte essentiell. [3, S. 13 f.]

2.2 Phasen der Integrierten Projektabwicklung

Die Abwicklung eines IPA-Projekts wird zumeist in fünf Phasen gegliedert (siehe Abbildung 2-2), wobei sich insbesondere die ersten drei Phasen signifikant von der konventionellen Projektabwicklung unterscheiden. Den fünf hier genannten Phasen geht eine Vorbereitungsphase voraus, in der die Entscheidung für ein IPA-Modell und grundlegende Festlegungen hinsichtlich Projektzielen und Budget durch den Bauherrn getroffen werden. [4, S. 85 f.]

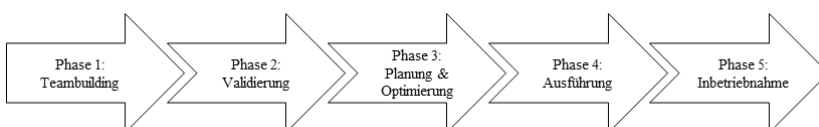


Abbildung 2-2: Phasen der Integrierten Projektabwicklung [i. A. a. 4, S. 85]

In der Teambuildingphase werden die Projektpartner anhand von „Best-for-Project“-Kriterien ausgewählt (vgl. Abschnitt 2.1). Der Auswahlprozess kann basierend auf Workshops, Interviews und Assessments hinsichtlich der Qualifikation und Teamfähigkeit der potenziellen Beteiligten erfolgen. Ferner können erste Angaben zu Preisbestandteilen, Geschäftskosten und Personalverrechnungssätzen der Beteiligten Eingang finden. Am Ende der Teambuildingphase steht ein gemeinsam ausgehandelter Mehrparteienvertrag, der entweder zu diesem Zeitpunkt oder nach der folgenden Validierungsphase geschlossen wird. [4, S. 86]

Die Validierungsphase beinhaltet die Überprüfung der Projektziele unter Berücksichtigung der Randbedingungen und des Bauherrenbudgets hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit. Dafür werden erste gemeinsame Lösungsansätze erarbeitet und darauf basierend Kosten- und Terminansätze entwickelt. Ziel der Validierungsphase ist neben der Einschätzung der Realisierbarkeit des Projekts ein gemeinsam ausgehandelter, verpflichtender Zeit- und Kostenplan. Sollte sein Budget nicht eingehalten werden können, steht es dem Bauherrn zu, die Projektbearbeitung nicht fortzuführen. [4, S. 86]

In der Planungs- und Optimierungsphase erfolgt die detaillierte Planung und Kosten-schätzung des Projekts. Das Ergebnis der Planungs- und Orientierungsphase bilden die vereinbarten Zielkosten. [4, S. 86]

3 Wirtschaftlichkeit von IPA-Projekten

3.1 Definition von Wirtschaftlichkeit

Unter dem Begriff „Wirtschaftlichkeit“ wird gemäß Duden die *„Übereinstimmung mit dem Prinzip, mit den gegebenen Mitteln den größtmöglichen Ertrag zu erwirtschaften oder für einen bestimmten Ertrag die geringstmöglichen Mittel einzusetzen“* [5, o. S.], verstanden.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Bauprojekten soll in diesem Beitrag die Denkweise des Leitfadens WU Hochbau übernommen werden, gemäß dem bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen die jeweiligen Investitions-, Herstellungs-, Nutzungs- und Verwertungskosten einschließlich der Risikokosten zu berücksichtigen sind. Potenzielle Unterschiede hinsichtlich des Nutzens sind ebenfalls einzubeziehen. Grundsätzlich können dabei monetäre und nicht monetäre respektive qualitative Kriterien herangezogen werden. [6, S. 17 f.]

Diesem ganzheitlichen Ansatz entsprechend werden in der vorliegenden Betrachtung folgende monetäre Kriterien berücksichtigt:

- (A) Baukosten und (B) Baunebenkosten
- (C) Risikokosten
- (D) Transaktionskosten

Zudem werden folgende nicht-monetäre Kriterien einbezogen:

- (E) Kostensicherheit und (F) Termsicherheit
- (G) Planungsdauer
- (H) Bauzeit
- (I) Qualität und (J) Nutzen
- (K) Innovationen und (L) Kultur

3.2 Potenzielle Auswirkungen auf die Projektabwicklung

Die konventionellen Projektabwicklungsformen haben sich, trotz nicht vernachlässigbaren Streitfällen und unverkennbar präsenten Kostensteigerungen sowie Terminüberschreitungen bei Großprojekten, in der Bauabwicklung bewährt und besitzen durchaus vielfältige und unbestreitbare Vorzüge (u. a. Mittelstandsförderung, klare Verantwortlichkeiten, exponierte Position des Bauherrn). Insbesondere im Hinblick auf risikobehaftete und schnittstellenreiche Vorhaben besitzen die konventionellen Projektabwicklungsformen jedoch Schwachstellen. Die eindeutige Festlegung des Leistungsumfangs als Teil der Ausschreibung und die spezifische Zuweisung von Verantwortlichkeiten sowie Risiken führen zur Verfolgung individueller Ziele bei der Leistungserbringung bzw. voneinander abweichenden Interessenslagen. Insofern dominieren Informationsasymmetrien und es bestehen kaum Anreize zur Kooperation². [7, S. 2 f.]

Die Gestaltung einer Projektorganisationsform im Sinne der IPA in einem Mehrparteienvertrag (vgl. Abschnitt 2.1) vollzieht sich in verschiedenen Ebenen und Elementen der Projektabwicklung. Dazu zählen unter anderem wirtschaftliche und vertragliche Aspekte, die Projektkultur, die Projektorganisation und die Arbeitsmethoden (vgl. Abschnitt 2.1). [7, S. 3; 4, S. 1] Die nachstehenden Absätze beschreiben ausgewählte potenzielle Auswirkungen auf die Projektabwicklung und Veränderungen bezüglich der vorgenannten Ebenen bzw. Elemente, die verschiedenen Aussagen zur IPA in der einschlägigen Literatur entnommen wurden.

(A) Baukosten und (B) Baunebenkosten

Im Hinblick auf die Kosten bietet die IPA die Möglichkeit zu Kosteneinsparungen. Durch den integrierten Planungsansatz, d. h. insbesondere die Einbindung des fachlichen Know-hows der ausführenden Unternehmen in einer früheren Phase als gewöhnlich, kann das bauverfahrenstechnische und baubetriebliche Wissen zu kostenoptimierten Planungslösungen führen (Auswirkungen daraus können auch die Betriebskosten betreffen, s. u.). [10, S. 16] Gleichmaßen bietet die IPA die Chance der Reduzierung der Kosten während der Ausführung. Durch die anreizbasierte Ausrichtung auf einen gemeinsamen Projekterfolg besteht während der Ausführung die Motivation der Be-

² Trotz der fehlenden Anreize zur Kooperation darf nicht vernachlässigt werden, dass im BGB und in der VOB/B Regelungen enthalten sind, die ein kooperatives Verhalten der Beteiligten verlangen und begünstigen [Vgl. 8, S. 3-44; 9, S. 13].

teiligten, die Bauausführung stetig zu optimieren und Kosten einzusparen. In Verbindung mit optimierten Planungsergebnissen (s. u.) ergibt sich in der Folge ein geringeres Potential für Änderungen, woraus wiederum geringere Bau- und Baunebenkosten resultieren würden.

Die Einbringung von kostenoptimierten Planungslösungen durch das ausführende Unternehmen vor der Festlegung des Kostenziels ist kritisch zu hinterfragen. Größere Vorteile ließen sich für ein ausführendes Unternehmen eventuell generieren, falls diese Lösung – sofern möglich – erst in der Ausführungsphase eingebracht wird und somit Bonus-Zahlungen durch die Unterschreitung des Kostenziels ausgelöst werden.

(C) Risikokosten

Änderungen und Risiken der Bauausführung sowie deren Auswirkungen könnten mit Hilfe des disziplinübergreifenden Wissens und der gemeinsamen Informationen bereits während der Planung und damit in einer Phase minimiert bzw. gesteuert werden, in der die Einflussmöglichkeiten am größten sind. Nichtsdestotrotz gehen mit der Bauausführung (auch in IPA-Projekten) typische Risiken einher (Baugrundrisiken, Witterungsrisiken, unbekannte Risiken), die nicht von vornherein bzw. durch eine optimierte Planung vermieden werden können und zu Änderungen der geplanten Bauabwicklung führen. [10, S. 8; 11, S. 16]

Bei dem Eintritt solcher Risiken sind schnelle, technisch und wirtschaftlich adäquate Lösungen erforderlich, die zu einer effizienten Risikobewältigung führen und die Störungen bzw. die entsprechenden Folgekosten so gering wie möglich halten. Die gemeinschaftliche Ausrichtung auf den Projekterfolg und die anreizbasierte Vergütung soll dazu führen, dass sich die Beteiligten bei solchen Störungen des geplanten Bauablaufs vollständig auf deren bestmögliche Bewältigung konzentrieren. Eine effiziente Bewältigung wird dabei wesentlich durch die bereitgestellten Informationen und das eingebrachte Wissen der Beteiligten in das Entscheidungsmanagement, Kosten- und Risikomanagement sowie Termin- und Qualitätsmanagement unterstützt. [10, S. 8; 11, S. 16] Ein weiterer Treiber dieses konstruktiven Umgangs mit Risiken, Änderungen oder Fehlern ist die in der IPA geforderte offene Kommunikation der Beteiligten, die eine frühzeitige Offenlegung von Störungen und eine entsprechende Reaktion ermöglicht. Auf diese Weise könnten die Konsequenzen minimiert werden. [4, S. 87 zitiert aus 12, S. 29 und 13, S. 207]

Die gemeinschaftliche, kooperative Bewältigung erfordert zudem eine entsprechende Flexibilität der Beteiligten im Hinblick auf den Einsatz von Ressourcen. Auf diese Weise sollen letztendlich „*Behinderungsanzeigen, Bauzeit- und Vergütungsstreitigkeiten [...] zuverlässig unterbunden*“ [10, S. 9] werden. [10, S. 8 f. und S. 16] Mit der Vermeidung von Behinderungsanzeigen, Abhilfeverlangen, Bauzeit- und Vergütungsstreitigkeiten etc. sind Kosteneinsparungen verbunden, die im nächsten Absatz unter der Zwischenüberschrift „Transaktionskosten“ diskutiert werden sollen.

(D) Transaktionskosten

Transaktionskosten sind Kosten, die nicht unmittelbar mit den wertschöpfenden Tätigkeiten der Planung und Ausführung verbunden sind. [14, S. 2 und S. 10] Entsprechend

der vorstehenden Ausführungen zum Umgang mit Risiken und Änderungen, die mit der kooperativen Haltung der Beteiligten und der Lösung von Streitigkeiten innerhalb des IPA-Teams einhergehen, bestehen für solche Transaktionskosten bei der IPA geringere Wahrscheinlichkeiten. [14, S. 4] Gemäß Darrington und Lichtig (2010) bestehen weitere Transaktionskosten in den Risikorückstellungen der Unternehmen, die zur Deckung potentieller Kostenüberschreitungen und nicht durchsetzbarer Forderungen bei Unklarheiten des Leistungsolls dienen sollen. [14, S. 10] Gleichermäßen wird von den Autoren auch ein geringerer Gewinnzuschlag angeführt, der mit dem reduzierten unternehmerischen Wagnis und der Möglichkeit zusätzlicher Gewinne durch die anreizbasierte Vergütung zusammenhinge.

(E) Kostensicherheit und (F) Termsicherheit

Die konventionelle Projektabwicklung, die auf einer (möglichst) eindeutigen, erschöpfenden Leistungsbeschreibung basiert, wird in ihrem geplanten Verlauf während der Projektabwicklung regelmäßig durch Änderungen oder den Eintritt von Risiken gestört. Bei der IPA erfolgen die Definition des Leistungsinhalts und die Planung bzw. Ausführungsvorbereitung gemeinsam durch die wesentlichen Projektbeteiligten. Dieses sogenannte IPA-Team besteht i. d. R. aus Bauherren, Planer(n) und ausführenden/m Unternehmen. Als Ergebnis wird durch die Einbeziehung von Risiken und von disziplinübergreifendem Wissen eine robuste Planung mit belastbaren Termin- und Kostenprognosen, d. h. eine höhere Kosten- und Termsicherheit, erwartet. Indem das IPA-Team die Verantwortung für die Vollständigkeit und Konsistenz der Planung gemeinsam übernimmt und für die (Über-)Erfüllung der Ziele finanziell belohnt wird, besteht bei allen Beteiligten das Interesse zur Berücksichtigung sämtlicher Kostenfaktoren und Risiken. [10, S. 8 und S. 12]

Kritisch sei an dieser Stelle durch die Autoren angemerkt, dass seitens der Auftragnehmer bei der Festlegung des Kostenziels ein Interesse bestehen könnte, Kosten für Leistungen und Risiken derart zu bewerten, dass diese mit weitaus größerer Wahrscheinlichkeit unter- als überschritten werden. Diese Gefahr besteht vor allem deshalb, weil die Festsetzung des Kostenziels gewöhnlich nicht oder nur eingeschränkt im Wettbewerb stattfindet und bei der Auswahl der Auftragnehmer der Kompetenzwettbewerb dominiert (s. o.).

(G) Planungsdauer

Das Zusammenwirken der Beteiligten in dem integralen Planungsprozess und dessen Überführung in eine gesamtheitliche Ausführungsvorbereitung soll mit effizienten Abläufen realisiert werden. Insgesamt wird durch das gemeinsame Vorgehen die Vermeidung von schnittstellenbedingten Verzögerungseffekten und überflüssigen Planungsüberarbeitungen behauptet. Im Hinblick auf Planrechtsverfahren könnte die bei der IPA angenommene höhere Konsistenz der Planunterlagen zu kürzeren Prüfprozessen führen. Gleichermäßen könnte den Anforderungen aus Planrechtsverfahren bestmöglich und innovativ mit Beiträgen des Fachwissens der ausführenden Unternehmen in dem Planungsergebnis begegnet werden. [10, S. 11 ff.]

(H) Bauzeit

In der IPA wird ein Potential für Bauzeitverkürzungen gesehen, das im Wesentlichen auf zwei Faktoren beruht. Zum einen wird der Planung des Bauablaufes eine größere Umsetzungswahrscheinlichkeit zugesprochen, da die Planung infolge des integralen Planungsprozesses durch eine höhere Qualität geprägt sei. Zum anderen führe die Kooperation der Beteiligten während der Bauausführung zur Reduzierung konfliktbedingter Verzögerungen bzw. Störungen. [10, S. 14]

(I) Nutzen und (J) Qualität

Durch eine IPA könnte eine Steigerung des Nutzens bzw. der Wirtschaftlichkeit im Betrieb erreicht werden. Ausschlaggebend hierfür sei vor allem eine gesamtheitliche, lebenszyklusoptimierte Planungslösung, die mithilfe der frühzeitigen Einbindung des unternehmerischen Know-hows realisiert werden könnte. Anreiz für die Unternehmen biete eine zusätzliche Vergütung, die an die Erfüllung vereinbarter (nicht monetärer) Ziele geknüpft ist. [10, S. 10]

(K) Innovationen und (L) Kultur

Durch den Einsatz der IPA werden auch Vorteile für die (deutsche) Bauwirtschaft gesehen. Die IPA besitzt das Potenzial zur Hervorbringung von Innovationen, insbesondere aus den Bereichen der Bau- und Bauverfahrenstechnik. Zudem werden in der deutschen Bauwirtschaft im Allgemeinen und bei den Beteiligten im Besonderen Kompetenzen in der Umsetzung solcher alternativen Vertragsmodelle mit der frühzeitigen Einbindung ausführender Unternehmen in den Planungsprozess erworben. Eine derartige Abwicklung bringt aufgrund des unverzichtbaren kooperativen Verhaltens einen Kulturwandel mit sich, der sich positiv sowohl auf das Projekt als auch die gesamte Bauwirtschaft auswirken und einen Beitrag zur Gewinnung von Fachkräften leisten kann. [10, S. 16 und S. 19]

Die vorstehenden Erläuterungen stellen die Zusammenhänge und Wirkungsmechanismen der IPA vereinfacht dar. Grundsätzlich ist zu beachten, dass die in Abschnitt 2.1 beschriebenen Charakteristika der IPA einem komplexen Zusammenwirken unterliegen und das Handeln der Beteiligten von der konkreten vertraglichen und organisatorischen Ausgestaltung des Modells abhängt. Insbesondere wenn – wie in der Praxis derzeit häufig zu beobachten ist – nur einzelne Elemente der IPA Bestandteil der Vereinbarungen werden, können die zuvor beschriebenen Potenziale womöglich nicht ausgeschöpft werden. Trotz der erforderlichen ganzheitlichen Betrachtung der IPA-Elemente werden im nächsten Unterabschnitt aufbauend auf den vorstehenden Erläuterungen Thesen aufgestellt, welche die potenziellen positiven Auswirkungen der IPA auf die einzelnen Charakteristika der IPA zurückführen.

3.3 Thesen zu potenziellen Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit

Aus den in Abschnitt 3.2 diskutierten potenziellen Auswirkungen der IPA können verschiedene Thesen abgeleitet werden, die eine Vorteilhaftigkeit gegenüber der konven-

tionellen Projektabwicklung implizieren. In dieser Veröffentlichung sollen diese Thesen derart aufgestellt werden, dass die potenzielle Veränderung in der Projektabwicklung auf die Charakteristiken der IPA zurückgeführt und darauf aufbauend jeweils potenzielle Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit skizziert werden. In Anbetracht des vielschichtigen Zusammenwirkens und der vielfältig denkbaren Auswirkungen sollen nur die schwerpunktmäßigen Wirkungszusammenhänge betrachtet werden. Weil trotz dieser Vereinfachungen dennoch zahlreiche Aspekte zu berücksichtigen sind, werden die Thesen in Form einer Matrix (vgl. Tabelle 3-1:Matrix zur generischen Aufstellung der Thesen (vereinfachte Wirkungsweisen)) dargestellt. Die Punkte in der Matrix verknüpfen die potenzielle Veränderung in der Projektabwicklung mit den Charakteristiken der IPA bzw. mit den potenziellen positiven Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit.

Charakteristika der IPA (vgl. Abschnitt 2.1)								Potenzielle Veränderung in der Projekt- abwicklung (vgl. Abschnitt 3.2)	Potenzielle Auswirkung auf Wirtschaftlichkeit) (vgl. Abschnitt 3.2)											
1 Mehrparteiensystem	2 Frühzeitige Einbindung der Schlüsselpartei	3 Gemeinsames Risikomanagement	4 Gemeinsame Entscheidungen	5 Anreizsystem	6 Kollaborative Arbeitsmethoden	7 Lösungsorientierte Konfliktbearbeitung	8 Kooperative Haltung		(A) Baukosten	(B) Baunebenkosten	(C) Risikokosten	(D) Transaktionskosten	(E) Kostensicherheit	(F) Terminalsicherheit	(G) Planungsclauer	(H) Bauzeit	(I) Lebenszykluskosten	(J) Qualität	(K) Innovationen	(L) Kultur
	•							Frühzeitige Minimierung von Risiken	•	•	•	•	•	•		•				
		•					•	Effiziente Bewältigung von Risiken	•	•	•				•	•				
	•							Geringerer Änderungsumfang	•	•	•			•	•	•				
	•							Optimierung des Planungsergebnisses	•		•					•	•	•	•	
•	•	•	•	•	•	•	•	Wahrscheinlichkeit und Ausmaß von Konflikten			•	•			•	•				•
					•	•		Weniger Iterationszyklen in der Planung		•					•					
	•		•	•				Geringere Risiko-, Wagnis und Gewinnzuschläge				•								

Tabelle 3-1:Matrix zur generischen Aufstellung der Thesen (vereinfachte Wirkungsweisen)

4 Ansätze zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

4.1 Maßgebende Fragestellungen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Im Folgenden werden die in Tabelle 3-1:Matrix zur generischen Aufstellung der Thesen (vereinfachte Wirkungsweisen) identifizierten Zusammenhänge dafür genutzt, konkrete

Elemente und Fragestellungen einer bauwirtschaftlichen und baubetrieblichen Untersuchung zu definieren, deren Bewertung die Annahme oder Ablehnung der Thesen ermöglicht.

Frühzeitige Minimierung von Risiken durch die frühzeitige Einbindung der Schlüsselbeteiligten

Die frühzeitige Minimierung von Risiken durch die frühzeitige Beteiligung des Auftragnehmers kann nach Erkenntnissen aus der Literaturstudie (vgl. Abschnitt 3.2 bzw. Tabelle 3-1: Matrix zur generischen Aufstellung der Thesen (vereinfachte Wirkungsweisen)) zu Verkürzungen der Bauzeit und gleichzeitig zu reduzierten Bau-, Bauneben- und Transaktionskosten führen. Gleichmaßen wird dadurch eine höhere Kosten- und Terminalsicherheit erhofft. Um zu prüfen, inwieweit solche Vorteile tatsächlich generiert werden, sind folgende Fragestellungen zu betrachten:

- Welche Risiken wurden in der Planungsphase durch die ausführenden Unternehmen identifiziert?
- Welche Informationen wurden von den ausführenden Unternehmen zu einem Zeitpunkt geliefert, zu dem sie üblicher Weise nicht involviert gewesen wären?

Um die Informationen zur Beantwortung der vorstehenden Fragestellungen zu erzeugen, wären die Beiträge der ausführenden Unternehmen während der Planungsphase bzw. Festlegung des Leistungsinhalts und der Zielkosten zu analysieren. Im Detail wären demzufolge Besprechungen, Workshops und Planungsergebnisse zu bewerten. Eine größere Kosten- und Terminalsicherheit wäre mit solchen Erkenntnissen belegbar. Es bliebe jedoch die in der Auseinandersetzung mit Risiken systemimmanente Unsicherheit, inwieweit die Risiken im Hinblick auf ein konkretes Projekt bei einer konventionellen Projektabwicklung tatsächlich zu Mehrkosten bzw. einer längeren Bauzeit geführt hätten. Diese Erkenntnisse ließen sich aus einer Datenauswertung von einer größeren Zahl vergleichbarer Projekte in konventioneller Abwicklung³ gewinnen. Eine andere Variante besteht darin, die Risiken einer zu vergleichenden konventionellen Abwicklung (für unbeeinflusste Ergebnisse am besten ex ante) zu bewerten und den Erwartungswert o. Ä. als Vergleichswert heranzuziehen.

Effiziente Bewältigung von Risiken durch ein kooperatives Verhalten und ein gemeinsames Risikomanagement

Aus der effizienten Bewältigung von Risiken durch ein kooperatives Verhalten und ein gemeinsames Risikomanagement könnten sich eine kürzere Planungsdauer und Bauzeit ergeben. Es ließen sich zudem Bau- und Baunebenkosten reduzieren. Um herauszubekommen, ob solche Vorteile tatsächlich mit der IPA einhergehen, sind folgende Fragestellungen zu beantworten:

³ Die Schwierigkeiten der Vergleichbarkeit von Bauprojekten vor dem Hintergrund des Unikatcharakters sollen an dieser Stelle nicht thematisiert werden, stellen jedoch bei der Verfolgung des Ziels der hier zu Diskussion stehenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Allgemeinen eine große Herausforderung dar.

- Welche Prozesse und welches Verhalten der Beteiligten tragen bei der Bewältigung von Risiken dazu bei, dass Kosten eingespart werden?
- Welche Unterschiede liegen bei der IPA im Vergleich zur konventionellen Projektabwicklung im Hinblick auf die Kommunikation und Zusammenarbeit vor, die sich vorteilhaft auf Kosten und Termine auswirken?

Die vorstehenden Fragen können durch Annahmen zu typischen Abläufen und Dauern bei der konventionellen Projektabwicklung beantwortet werden. Hierzu sind vor allem die bauvertraglichen Elemente der konventionellen Projektabwicklung in Form von Behinderungsanzeigen, Bedenkenanmeldungen, Abhilfeverlangen etc. heranzuziehen. Für die Beurteilung der zeitlichen Auswirkungen ist zu beachten, ob die Ereignisse auf dem kritischen Weg liegen oder dort in der konventionellen Abwicklung gelegen hätten.

Geringerer Änderungsumfang durch frühzeitige Beteiligung der ausführenden Unternehmen

Bei der IPA wird im Vergleich zu einer konventionellen Projektabwicklung ein geringeres Ausmaß an Änderungen durch die frühzeitige Beteiligung der ausführenden Unternehmen erwartet. Durch diesen Umstand könnten sich sowohl die Planungszeit als auch die Bauzeit verkürzen, da Umplanungen zusätzlichen Aufwand bedeuten und den geplanten Bauablauf stören bzw. die Effizienz erheblich beeinflussen können. Mit dem zuvor beschriebenen Aufwand und den zeitlichen Auswirkungen sind i. d. R. Mehrkosten verbunden. Mit den nachstehenden Fragestellungen sollen die Besonderheiten der IPA in dieser Hinsicht eruiert werden:

- Welche Beiträge der ausführenden Unternehmen in der Planungsphase führen unmittelbar zur Vermeidung von Änderungen?
- Ist die Zahl an tatsächlichen Änderungen geringer als in der konventionellen Abwicklung?

Änderungen können zum einen das Bauwerk selbst und zum anderen den Bauablauf oder sonstige Abläufe respektive Randbedingungen betreffen. Analog zum Umgang mit Risiken wären die Beiträge der ausführenden Unternehmen in Besprechungen, Workshops und zur Planung zu bewerten. Um die Zahl der tatsächlichen Änderungen in ein Verhältnis setzen zu können, sind zum einen adäquate Kennwerte zu wählen (z. B. Gesamtzahl der Änderungen, Anteil der Kosten für Änderungen an Gesamtbaukosten, Verhältnis der Anzahl an Änderungen in der Planungsphase gegenüber der Ausführungsphase). Besonders ist an dieser Stelle noch darauf hinzuweisen, dass der Begriff einer „Änderung“ für die IPA (projektspezifisch) in Abhängigkeit der individualvertraglichen Regelungen und der Risikoverteilung zu definieren ist.

Optimierung des Planungsergebnisses durch frühzeitige Beteiligung der ausführenden Unternehmen

Ein optimiertes Planungsergebnis kann sich positiv auf die Bauzeit und Baukosten auswirken. Im Hinblick auf die hier behandelte Problemstellung ist sicherzustellen, dass die

Optimierung auf die Beteiligung der ausführenden Unternehmen bzw. die gemeinsame Planung zurückzuführen ist. Es ist zu berücksichtigen, dass die Beteiligung der ausführenden Unternehmen grundsätzlich zunächst einmal höhere Baunebenkosten verursacht, als es in der konventionellen Abwicklung der Fall ist. Letztlich sind folgende Fragestellungen zu beantworten:

- Welche Beiträge der ausführenden Unternehmen in der Planungsphase führen zu einer optimierten Planung?
- Welche Auswirkungen der Optimierungen ergeben sich im Hinblick auf Bauzeit und Baukosten?
- Welche Kosten entstehen durch die frühzeitige Beteiligung der ausführenden Unternehmen an der Planung?

Zu Generierung von Erkenntnissen sind Vorschläge und Ausarbeitungen der ausführenden Unternehmen aus Besprechungen und Workshops sowie Planungsergebnisse daraufhin zu bewerten, ob das spezifische Know-how der Unternehmen zu optimierten Lösungen führt. Kritisch zu prüfen wäre ferner, inwieweit eine Einbringung des Know-hows in der Realisierungsphase in einer konventionellen Abwicklung erfolgt wäre und ob damit dieselben Vorteile hätten erzielt werden können. Die Kosten, die durch die frühzeitige Beteiligung der ausführenden Unternehmen an der Planung entstehen, können dem dokumentierten tatsächlich angefallenen Aufwand bzw. den abgerechneten Kosten der ausführenden Unternehmen entnommen werden.

Wahrscheinlichkeit und Ausmaß von Konflikten

Die Literaturstudie in Abschnitt 3.2 hat Erwartungen offengelegt, gemäß denen in der IPA die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß von Konflikten im Vergleich zur konventionellen Projektabwicklung erheblich reduziert wären. Fragestellungen in diesem Zusammenhang lauten:

- Welche Konflikte treten bei der IPA auf?
- Wie wirken sich diese Konflikte auf die Projektabwicklung aus?

Um die vorstehenden Fragestellungen zu beantworten, könnte eine dezidierte baubetriebliche Analyse durchgeführt werden, mit der zunächst mithilfe von Protokollen, Terminplänen und Aussagen von Projektbeteiligten Konflikte identifiziert werden. Anschließend müssten die Auswirkungen analog zur Beurteilung von Nachträgen bei konventionellen Bauprojekten und der Bewertung von Ansprüchen auf Bauzeitverlängerung mittels störungsmodifizierten Terminplänen ermittelt werden. Ein besonderes Augenmerk sollte bei dieser Analyse auf die durch die gemeinsame Erarbeitung von Ergebnissen und durch kooperative Verhaltensweisen geprägte Veränderung der Prozesse im Vergleich zur konventionellen Projektabwicklung gelegt werden. Vergleichswerte für die konventionelle Variante müssten aus abgewickelten Projekten entnommen werden oder in die Betrachtung der Risiken integriert werden.

Weniger Iterationszyklen in der Planung

Durch die IPA würden angeblich weniger Iterationszyklen in der Planung erforderlich werden, da durch das kollaborative Arbeiten in jedem Schritt eine intensive Abstimmung der Beteiligten erfolgt und somit Nacharbeiten und Änderungen vermieden werden können. Die Beteiligung der ausführenden Unternehmen soll dazu führen, dass früher eine höhere Reife der Planung erreicht wird. An dieser Stelle sind dementsprechend folgende Fragen zu stellen:

- Werden bei der IPA von Beginn an höhere Detaillierungsgrade der Planung umgesetzt?
- Ermöglicht das kollaborative Arbeiten bzw. die gemeinsame Erarbeitung der Planung im Team eine parallele, disziplinübergreifende Konkretisierung der Planungsunterlagen?
- Findet durch die Beteiligung der ausführenden Unternehmen bereits zu einem frühen Zeitpunkt die Ausführbarkeit der Leistungen Berücksichtigung?

Um Erkenntnisse zur Beantwortung der vorstehenden Fragen zu generieren, wäre eine dezidierte Auswertung des Planungsprozesses und der Planunterlagen erforderlich, die einer konventionellen Projektabwicklung gegenübergestellt werden müsste.

Geringere Risiko-, Wagnis und Gewinnzuschläge

Aufgrund des vermeintlich geringeren Risikos und der Möglichkeit zur Generierung zusätzlicher Gewinne könnten die Gewinnzuschläge der Unternehmen, die i. d. R. bei der Auftragsvergabe zudem dem Wettbewerb unterstellt werden, bei der IPA geringer ausfallen. Von diesen etwaigen Einsparungen sind jedoch die Bonuszahlungen abzuziehen. Während die Zuschläge im IPA-Projekt infolge der Vergütungsmechanismen und der transparenten Buchführung („open book“) direkt den Aufzeichnungen bzw. Berechnungsgrundlagen entnommen werden können, müssen die Vergleichswerte der konventionellen Projektabwicklung erst ermittelt werden. Hierzu könnten von den ggf. eingesetzten Wirtschaftsprüfern und baubetrieblichen Gutachtern geprüfte Werte von Referenzprojekten der ausführenden Unternehmen, eigene Erfahrungswerte der Auftraggeber oder Werte der bauwirtschaftlichen Literatur herangezogen werden.

4.2 Systematik der Untersuchung zur Generierung quantitativer und qualitativer Ergebnisse

Wie den Ausführungen in Abschnitt 4.1 zu entnehmen ist, ist zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit ein direkter Vergleich der Abwicklung eines IPA-Projekts mit einer konventionellen Abwicklung elementar. Möglichkeiten zur Umsetzung stellen

- der Vergleich mit aus verschiedenen, vergleichbaren Bauaufgaben ermittelten statistischen Kennwerten für die konventionelle Projektabwicklung,

- die Modellierung eines hypothetischen Verlaufs des jeweiligen Projekts in der konventionellen Ausführung oder
- die im Rahmen der ÖPP bekannt gewordene Parallelausschreibung dar.⁴

Hilfsmittel und Dokumente, die zur Beantwortung der in Abschnitt 4.1 aufgestellten Fragestellungen und Messung verschiedener Kennwerte herangezogen werden könnten, sind

- Elemente des Kostencontrollings,
- Elemente der Terminplanung und -steuerung,
- das gemeinsam geführte Risikoregister,
- eine fortgeschriebene Mittelabflussplanung und
- ein Ressourcenplanung sowie -ganglinie.

Ein besonderer Fokus der Untersuchung sollte auf bestimmte Ereignisse im Bauablauf gelegt werden. Hierzu bedarf es einer sensibilisierten Begleitung des Bauablaufs bzw. nachträglichen Auswertung von Besprechungsprotokollen, E-Mail-Verkehr etc. Insbesondere der Umgang mit eingetretenen Risiken sollte einer detaillierten Analyse unterliegen. Das Wissen der Beteiligten sollte bei der Auswertung direkt genutzt werden, in dem diese auf die neuralgischen Punkte im Bauablauf hinweisen. Die Beteiligten sollten auch dahingehend sensibilisiert werden, auf Aspekte hinzuweisen, die bei der konventionellen Projektabwicklung gegebenenfalls zu größeren Auswirkungen geführt hätten, obwohl sie bei der IPA ohne Relevanz geblieben sind.

Tatsächliche Kosten, die dem Zahlungsverkehr aus der Buchhaltung systematisch entnommen werden können, sollten den geplanten Kosten gegenübergestellt werden. Aus diesem Abgleich könnten sich entscheidende, weitergehend zu untersuchende Veränderungen im Projektablauf identifizieren lassen. In Anlehnung an die typische Vorgehensweise bei der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von öffentlichen Baumaßnahmen [5; 15] können dazu die Kosten wie in Abschnitt 3.1 vorgestellt kategorisiert werden.

Neben den quantitativen Größen müssen auch qualitative Größen in die Beurteilung einbezogen werden. Die Durchführung von Befragungen der Projektbeteiligten könnte qualitative Erkenntnisse zur Zusammenarbeit, zu Prozessen und zu Veränderungen gegenüber der konventionellen Projektabwicklung liefern. Anwendbare Ansätze hierzu existieren beispielsweise bereits mit dem „Kooperations-QuickCheck“ der österreichischen Bautechnikvereinigung (ÖBV), welches die Messung des Kooperationsgrads in Bauprojekten ermöglichen soll.

⁴ Die aufgezählten Möglichkeiten könnten auch kombiniert angewendet werden.

5 Zusammenfassung

Mit den Bestandteilen der IPA wird das Ziel der wirtschaftlicheren und erfolgreichen Abwicklung von Bauvorhaben verfolgt. Ziel dieser Veröffentlichung war es, eine Systematik einschließlich zu untersuchender Fragestellungen und Elemente zu entwickeln, mit denen die Wirtschaftlichkeit der IPA ex post in der Durchführung von Projekten bzw. bei abgeschlossenen Projekten beurteilt werden kann.

Dafür wurden in Kapitel 2 die IPA-Charakteristika und Phasen vorgestellt. Anschließend wurden in Kapitel 3 behauptete potenzielle Vorteile der IPA gegenüber einer konventionellen Abwicklung herausgearbeitet. Aufbauend auf den potenziellen Vorteilen wurden Einflüsse der IPA auf den Projektablauf identifiziert und Thesen abgeleitet, die zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit von IPA heranzuziehen sind (vgl. Tabelle 3-1: Matrix zur generischen Aufstellung der Thesen (vereinfachte Wirkungsweisen)). In Kapitel 4 wurden maßgebliche Fragestellungen zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit erarbeitet und in einer Systematik zur Generierung quantitativer und qualitativer Ergebnisse zusammengefasst. Ferner konnten erste nötige Eingangsdaten und Messgrößen für die Systematik identifiziert werden.

Im Zuge der Umsetzung von IPA bei Bauprojekten (insbesondere der öffentlichen Hand) ist zu erwarten, dass zukünftig vermehrt Fragen nach der Wirtschaftlichkeit von IPA als Abwicklungsmodell gestellt werden. Diese Veröffentlichung liefert einen ersten Ansatz zur Beantwortung dieser Fragen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Reformkommission Bau von Großprojekten: *Komplexität beherrschen – kostengerecht, termintreu und effizient – Endbericht*, Berlin, 2015.
- [2] J. Pease, H. Ashcraft, M. Allison, R. Cheng, S. Klawans, *Integrierte Projektabwicklung: Ein Leitfaden für Führungskräfte – Deutsche Übersetzung*, (Übers.) A. Boldt, 2021.
- [3] IPA Zentrum, *Integrierte Projektabwicklung (IPA) – Charakteristika und konstitutive Modellbestandteile*, 2022.
- [4] S. Haghsheno, C. Baier, A. Miguel Schilling, P. Talmon, M. Budau, *Integrated Project Delivery (IPD) – Ein neues Projektabwicklungsmodell für komplexe Bauvorhaben*, Bauwirtschaft, 5. Aufl. (2), S. 80-93, 2020.
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, *Leitfaden WU Hochbau: Leitfaden Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (WU) bei der Vorbereitung von Hochbaumaßnahmen des Bundes*, 3. Aufl., Berlin, 2012.
- [6] Bibliographisches Institut GmbH. Duden. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Wirtschaftlichkeit>. Zuletzt abgerufen am 28.03.2022
- [7] O. Bartz, N. Rodde, *Integrierte Projektabwicklung – Kulturwandel als essenzieller Schlüssel für erfolgreiche Großprojekte*, Bauwirtschaft, 5. Aufl. (4), S. 202-207, 2020.
- [8] Fuchs, Heiko: *Kooperationspflichten der Bauvertragsparteien*, In: Baurechtliche Schriften, Band 58,

Werner Verlag, Düsseldorf (2003)

[9]Schwerdtner, Patrick: *Kooperationspflichten der Vertragsparteien aus baubetrieblicher Sicht*. In: Wanninger (Hrsg.): Streitvermeidung und Streitbeilegung: etablierte Verfahren und neue Wege: Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 23. Februar 2007. Schriftenreihe des IBB. Braunschweig: Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb (2007), Heft 44, S. 1955

[10]M. Sundermeier, P. Beidersandwisch, H. Kleinwächter, T. Rehfeld, *Partnerschaftliche Projektabwicklung für die Schienenverkehrsinfrastruktur – Kurzbericht*, TU Berlin: Fachgebiet Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2019.

[11]Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, *Alternative Vertragsmodelle zum Einheitspreisvertrag für die Vergabe von Bauleistungen durch die öffentliche Hand – Endbericht*, 2020.

[12]Thomsen, Chuck; Darrington, Joel; Dunne, Dennis; Lichtig, Will (2009): *Managing Integrated Project Delivery*. Hg. v. CMAA.

[13]Walker, Derek H. T.; Rawlinson, Steve (2019): *Routledge Handbook of Integrated Project Delivery*. Routledge, London.

[14]J. W. Darrington; W. A. Lichtig, *Rethinking the “G” in GMP: Why Estimated Maximum Price Contracts Make Sense on Collaborative Projects*, The Construction Lawyer, 30, S.29-40, 2010.

[15]Bundesfinanzministerium, *Arbeitsanleitung Einführung in Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen*. Rundschreiben des Bundesfinanzministeriums (BMF) vom 12. Januar 2011, in der Fassung der Änderung durch Rundschreiben des BMF vom 07.05.2021.

Partnering-Ansatz für die Abwicklung eines Pilotprojekts für die Instandsetzung von Schleusenanlagen unter laufendem Betrieb

Elisa Schwarzweller¹

¹ Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) elisa.schwarzweller@kit.edu

Kurzfassung

Partnering ist als Managementansatz in der deutschen Bauindustrie bisher nicht weit verbreitet. Allerdings können partnerschaftliche Ansätze vorteilhaft für eine effiziente Umsetzung von Projekten sein. Auch die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) führt Partnering-Ansätze in erste Pilotprojekte ein. Ein Beispiel dafür ist das Pilotprojekt Bauteilversuche Oberesslingen, mit dem verschiedene Instandsetzungsverfahren für eine Instandsetzung unter Betrieb von Schleusenkammern durchgeführt werden. Diese Aufgabe ist nicht nur in technischer, sondern auch in vergaberechtlicher Hinsicht komplex, weshalb von konventionellen Modellen abweichende Formen der Zusammenarbeit angestrebt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	290
2	Instandsetzung von Schleusenanlagen unter laufendem Betrieb.....	290
2.1	Problemstellung.....	290
2.2	Forschungsgegenstand	292
3	Partnering-Ansätze für öffentliche Auftraggeber	292
3.1	Definition Partnering	292
3.2	Partnering-Modelle in der Bauwirtschaft	294
4	Pilotprojekt Bauteilversuche Oberesslingen	295
4.1	Instandsetzungsaufgabe	295
4.2	Gewählter Partnering-Ansatz	297
4.3	Vorgeschalteter Interessensdialog	298
5	Zusammenfassung und Ausblick	299
6	Literaturverzeichnis	300

1 Einleitung

Die Bundeswasserstraßen besitzen eine bedeutende Verkehrsfunktion. Im Jahr 2021 wurden allein über die deutsche Binnenschifffahrt Gütermengen von rund 195 Millionen Tonnen transportiert. Damit entsprechen die Transportleistungen der Binnenschifffahrt ca. 55 % aller Güterverkehrsleistungen des Eisenbahnverkehrs. [1]

Für eine wirtschaftliche und leistungsfähige Erbringung dieser Transportleistung ist ein funktionsfähiges Wasserstraßennetz erforderlich. Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) trägt die Verantwortung dafür, dass die Schiffbarkeit auf deutschen Bundeswasserstraßen mit ihrer Gesamtlänge von rund 7300 km sichergestellt ist. [2] Dazu gehört es auch, die Funktionsfähigkeit der zahlreichen Wasserbauwerke an den Bundeswasserstraßen dauerhaft zu gewährleisten. Der Instandhaltung von Schleusenanlagen kommt zur Sicherstellung der Schiffbarkeit eine große Bedeutung zu.

Besonders zu beachten sind Schleusenanlagen mit nur einer Schleusenkammer, da diese bei einer konventionellen Instandsetzung außer Betrieb (IaB) bis zur Beendigung der Arbeiten nicht für den Schifffahrtsbetrieb zur Verfügung stehen. Im Falle einer Grundinstandsetzung solcher Einkammerschleusen müssen die betroffenen Wasserstraßenabschnitte bis zu mehreren Jahren gesperrt werden, da anders als bei den Verkehrsträgern Schiene und Straße keine Ausweichmöglichkeiten auf eine andere Spur (zweite Kammer) oder eine alternative Route (andere Wasserstraße) bestehen. Aus diesem Grund wird derzeit an vielen betroffenen Anlagen eine wirtschaftlich und technisch aufwendiger Ersatzneubau realisiert. Die WSV benötigt zur strategischen Absicherung, neben den Varianten Ersatzneubau und konventioneller Instandsetzung, alternative Instandsetzungskonzepte, um der längerfristigen Außerbetriebnahme von Schleusenanlagen entgegenzuwirken. [2, 3]

Damit die deutsche Bauindustrie im internationalen Vergleich wettbewerbsfähig bleibt, bedarf es innovativer Vergabe- und Projektabwicklungsmodelle, die eine effizientere Projektabwicklung ermöglichen. So werden auch in der WSV neue Formen der Zusammenarbeit erprobt, z. B. durch die Einführung von partnerschaftlichen Ansätzen. In einem sich aktuell im Vergabeprozess befindlichen Pilotprojekt „Bauteilversuche Oberesslingen“ der WSV werden in diesem Zusammenhang nicht nur technische Innovationen, sondern auch die Umsetzung partnerschaftlicher Elemente in einem sog. Partnering-Paket-Modell verfolgt.

2 Instandsetzung von Schleusenanlagen unter laufendem Betrieb

2.1 Problemstellung

Die WSV verfügt über insgesamt 260 Einkammerschleusen. Ein Großteil dieser Schleusenanlagen weist, verbunden mit einem hohen Bauwerksalter, bereits diverse Schäden

auf, die aktuell oder in absehbarer Zukunft die Tragfähigkeit und/oder die Gebrauchstauglichkeit der Bestandsbauwerke maßgeblich beeinträchtigen. Hier zeichnet sich ein erheblicher Instandsetzungsbedarf für die WSV ab. [4]

Verschiedene Einwirkungen führen insbesondere bei Kammerwänden in Massivbauweise z. B. zu Abplatzungen und Rissen, wodurch die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit der Schleusenanlagen beeinträchtigt werden können. Besonders beansprucht sind hierbei Kammerwandbereiche, die in der Wasserwechselzone zwischen Unter- und Oberwasserstand liegen. [5] Mögliche Zustände von Schleusenkammerwänden mit Instandsetzungsbedarf sind beispielhaft in Abb. 2-1 dargestellt.



Abb. 2-1: Kammerwand in zonierter Bauweise mit Betonausbrüchen

Die visuell erkennbaren Schäden an Bauteilen von Verkehrswasserbauwerken werden innerhalb der WSV mittels Schadensklassifizierung erfasst und in die Schadensklassen (SK) 1 bis 4 eingeordnet, welche anhand der Auswirkungen auf Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Schadens auf das Bauteil bestimmt werden. SK 1 bedeutet hierbei, dass die am Bauwerk vorhandenen Schäden die Tragfähigkeit und/oder die Gebrauchstauglichkeit nicht beeinträchtigen und voraussichtlich keine weitere Schadensentwicklung erfolgt. Dahingegen erfordert SK 4 sofortige Maßnahmen, um die Tragfähigkeit und/oder Gebrauchstauglichkeit des Bauteils wieder herzustellen. [5] Von den oben genannten 260 Einkammerschleusen waren nach dieser Klassifikation 31 Einkammerschleusen der SK 4 und 77 weitere der SK 3 zugeordnet, womit sich ein unmittelbarer Instandsetzungsbedarf bei diesen Anlagen abzeichnet. [4].

Vor dem Hintergrund der vorgenannten Problemstellung beinhaltet das Forschungs- und Entwicklungsprojekt Instandsetzung unter Betrieb (IuB) die Untersuchung und Entwicklung alternativer Bauverfahren und Baustoffe für die Instandsetzung von Einkammerschleusen. Ziel des Projekts ist es, die Instandsetzungen überwiegend innerhalb täglicher Sperrpausen unter Aufrechterhaltung des Schleusenbetriebs zu realisieren. Das Ergebnis soll qualitativ vergleichbar mit einer konventionellen Instandsetzung bei Außerbetriebnahme der Kammer sein. [6]

2.2 Forschungsgegenstand

Das Projekt IuB wurde im Zuge einer von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), dem Wasserstraßen-Neubauamt Heidelberg (WNA HD, ehemals ANH) und dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Neckar (WSA Neckar, ehemals WSA Heidelberg und WSA Stuttgart) unterzeichneten Absichtserklärung zur Instandsetzung der linken Schleusenammer der Schleusenanlage Schwabenheim initiiert. Die Auftragseröffnung und erste Planungen im Rahmen des Projekts erfolgten daraufhin im Jahr 2014. [4] Die Projektgruppe IuB setzt sich aus Mitgliedern der BAW, des WNA HD und des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) vertreten durch das Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) zusammen.

Die Instandsetzung von Schleusenanlagen unter laufendem Betrieb stellt aufgrund der besonderen Randbedingungen höchste Ansprüche sowohl an die verwendeten Baustoffe als auch an den Baubetrieb. Für die Baumaßnahmen stehen Sperrpausen von wenigen Stunden zur Verfügung, in denen neben vorbereitenden Maßnahmen, wie z. B. einer (partiellen) Trockenlegung, auch die Reprofilierung von Kammerwänden mit z. B. Spritzbeton und die Erhärungszeit des verwendeten Betons erfolgen müssen.

Um die zur Verfügung stehenden Zeitfenster effizient nutzen zu können, bedarf es u. a. der baustofftechnologischen Entwicklung besonders schnell erhärtender Betone, die jedoch den Anforderungen an Qualität und Dauerhaftigkeit der geltenden Normen und Vorschriften der WSV genügen müssen. Diese Betone sollten zudem am Markt frei verfügbar sein, sodass eine Monopolbildung vermieden wird.

Zum Aufgabenbereich des IuB-Projekts gehören neben der baustofftechnologischen und baubetrieblichen Entwicklungsarbeit zudem die bauliche Umsetzung der entwickelten Lösungsansätze an ausgewählten Schleusenanlagen der WSV sowie die Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung von Erfahrungen aus bereits von Dritten durchgeführten Instandsetzungsmaßnahmen. Neben technischen Aspekten werden außerdem (vergabe-)rechtliche Aspekte betrachtet. Die gewonnenen Informationen sind in einem sog. Modulbaukasten aufbereitet (<https://izw.baw.de/wsv/planen-bauen/instandsetzung-unter-betrieb>). Dieser wird in Zukunft mit fortschreitendem Projektfortschritt ergänzt und somit ausgebaut.

3 Partnering-Ansätze für öffentliche Auftraggeber

3.1 Definition Partnering

Der Begriff Partnering (engl. Kooperation) umfasst verschiedene Projektorganisations- und Bauvertragsmodelle, die partnerschaftliche Merkmale beinhalten. Partnering kann als eine Modellphilosophie verstanden werden, die „den Kooperationswillen [der Vertragsparteien] in den Vordergrund rückt“ [5]. Des Weiteren wird Partnering auch als Managementansatz bezeichnet, „der von zwei oder mehreren Organisationen angewen-

det wird, um durch Maximierung der Effektivität der jeweiligen Ressourcen spezifische Geschäftsziele zu erreichen“ [6]. Dieser basiert auf gemeinsamen Zielen, einer gemeinsamen Methode zur Problemlösung und einem aktiven Streben nach kontinuierlicher Verbesserung. [6]

Der Arbeitskreis „Partnerschaftsmodelle in der Bauwirtschaft“ im Hauptverband der deutschen Bauindustrie e. V. definiert Partnering wie folgt: „Partnering bezeichnet im Allgemeinen einen mit konkreten Arbeitsweisen verknüpften Managementansatz, der die Kooperation der Vertragsparteien und Projektbeteiligten in den Vordergrund stellt. Durch die daraus resultierende Ausrichtung auf gemeinsame Projektziele sollen Win-Win-Potenziale genutzt, die Projektabwicklung effizienter gestaltet und Konfliktpotenziale minimiert werden“ [7].

Eine einheitliche Definition ist für den Begriff Partnering somit bis dato nicht gegeben. Dennoch verknüpfen alle Definitionen den Grundgedanken partnerschaftlicher Zusammenarbeit zur Umsetzung gemeinsam festgelegter Ziele. Dieser Grundgedanke kann durch die Integration partnerschaftlicher Merkmale in der Projektorganisation oder im Vertrag verankert werden.

Wesentliche Merkmale des Partnering sind z. B.

- die Definition gemeinsamer Projektziele,
- eine adäquate Vertragsgestaltung,
- eine kontinuierliche Verbesserung durch Projektcontrolling und
- die Festlegung eines Vorgehens zur außergerichtlichen Konfliktlösung. [8]

Durch eine gemeinsame Festlegung der Projektziele durch AN und AG wird die Optimierung der Faktoren Kosten, Zeit und Qualität angestrebt. Außerdem besteht ein wesentliches Bestreben darin, die Risiken für alle Beteiligten zu reduzieren. Eine adäquate Vertragsgestaltung beinhaltet, dass die gemeinsam festgelegten Ziele und die Bereitschaft zur partnerschaftlichen Zusammenarbeit im Vertrag verankert werden. Um den Grad der Zielerreichung festzustellen und daraus Maßnahmen zur Performance-Steigerung ableiten zu können, ist zudem ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess durch Projektcontrolling unabdingbar. Durch ein vorab gemeinsam festgelegtes Vorgehen für den Umgang mit Konflikten wird bewusst entschieden, Konflikte nicht eskalieren zu lassen und zuerst außergerichtliche Eskalationsstufen zu durchlaufen, wie z. B. eine Mediation oder ein Schiedsgutachterverfahren. [8]

Darüber hinaus kann Partnering dadurch gekennzeichnet sein, dass Projektbeteiligte sich bewusst als Projektpartner verstehen und in einem Team vereint sind, das sowohl aus Mitgliedern der AN- als auch der AG-Seite besteht. Eine partnerschaftliche Zusammenarbeit wird zudem von einer transparenten Darlegung der Kostenermittlung und der Zusammensetzung der Vergütung unterstützt. [9]

Die frühzeitige Einbindung des Knowhows von Ausführenden in die Planungsphase stimmt ebenfalls mit dem Partnering-Ansatz überein, da die Kooperation aller Beteiligten in den Vordergrund gestellt und durch die damit verbundene Vermeidung von Schnittstellen zu einer effizienten Projektabwicklung beigetragen wird.

3.2 Partnering-Modelle in der Bauwirtschaft

Konventionelle Projektabwicklungsformen mit fragmentierten Phasen sind teilweise für suboptimale Prozesse in der Bauwirtschaft verantwortlich. Ungelöste Schnittstellenprobleme sowie die Tendenz, Teilleistungen statt der Gesamtleistung zu optimieren, gehören hierbei zu den Ursachen. Aufgrund der Durchsetzung von Einzelinteressen der einzelnen Beteiligten können keine gewerke- und phasenübergreifenden Kundenvorteile erzielt werden. [10]

Da die Bauwirtschaft einen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit der exportorientierten Industrie hat, besteht ein volkswirtschaftliches Interesse darin, die Leistungsfähigkeit der Bauwirtschaft langfristig zu stärken und gleichzeitig den Kundennutzen zu erhöhen. Eine Möglichkeit bieten daher neue Formen der Zusammenarbeit, die beispielsweise durch Partnering-Modelle umgesetzt werden können. [10]

Die deutsche Bauindustrie ist international gut angesehen, jedoch zeigen diverse Großprojekte, wie z. B. der Berliner Großflughafen, die Elbphilharmonie in Hamburg und Stuttgart 21, dass die ursprünglich vorgesehenen Kosten- und Terminpläne signifikant überschritten wurden. Somit besteht ein Handlungsbedarf darin, Ursachen für diese Fehlentwicklungen zu identifizieren und diesen entgegenzuwirken. Dafür wurde die Reformkommission Bau von Großprojekten vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr BMDV (vorher BMVI) ins Leben gerufen. In deren Endbericht aus dem Jahr 2015 wurde die partnerschaftliche Zusammenarbeit als ein wesentlicher Bestandteil einer Handlungsempfehlung zur Vermeidung von Kosten- und Terminüberschreitungen aufgenommen. Neben Projektkultur, Anreizmechanismen und Konfliktlösung werden in diesem Zusammenhang auch partnerschaftliche Vergabe- und Vertragsmodelle für Bauleistungen genannt. [11]

Auch in der Strategie Planungsbeschleunigung aus dem Jahr 2017 des BMDV wurde die Stärkung von partnerschaftlicher Zusammenarbeit als einer von zwölf Punkten aufgenommen. Darin ist das Ziel beschrieben, in Verkehrsinfrastrukturprojekten eine Kultur der partnerschaftlichen Zusammenarbeit zu schaffen, sodass einer konfrontativen Grundhaltung und Konflikten zwischen den zahlreichen Beteiligten möglichst vorgebeugt wird. [12]

Daraus leitet sich auch für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) der Anspruch auf die Implementierung von Partnering-Ansätzen in die Ausgestaltung der Projektabwicklung ab. Somit kommen auch im Bereich der Wasserstraßen erste innovative Vergabemodelle zum Einsatz. Das Pilotprojekt Bauteilversuche Oberesslingen wird beispielsweise mit einem sogenannten Partnering-Paket-Modell abgewickelt, das Spielraum für die Integration von partnerschaftlichen Ansätzen über den gesamten Vergabeprozess sowie die anschließende Planungs- und Bauphase schafft.

4 Pilotprojekt Bauteilversuche Oberesslingen

4.1 Instandsetzungsaufgabe

Bauteilversuche stellen eine Möglichkeit dar, die Durchführbarkeit von Instandsetzungsverfahren nachzuweisen, um diese anschließend als Handlungsempfehlung über den Modulbaukasten an die WSV weitergeben zu können. Daher plant die BAW zurzeit die Umsetzung von Bauteilversuchen an der Schleusenanlage Oberesslingen am Neckar. Hierbei sollen bautechnische Verfahren für die Instandsetzung von Einkammerschleusen unter Betrieb erprobt, Leistungsdaten ermittelt und die daraus entstehenden Erfahrungen in den Modulbaukasten überführt werden. Ziel ist es, die Eignung sowie die Realisierbarkeit ausgewählter Bauverfahren in mindestens einem Bauteilversuch nachzuweisen. Dafür steht die zurzeit trockengelegte rechte Schleusenkammer der Schleusenanlage zur Verfügung, die in der Vergangenheit ausschließlich als Sparkammer eingesetzt wurde (Abb. 4-1). Dies bedeutet, dass die Schleusenkammer zwar Ähnlichkeiten zu anderen Schleusenkammern aufweist, allerdings nicht aktiv für die Schleusung von Schiffen am Neckar genutzt wird. [10]



Abb. 4-1: Rechte Schleusenkammer Oberesslingen

Die Bauteilversuche werden vom WNA HD durchgeführt und umfassen Baumaßnahmen für die Trockenlegung, den Abtrag sowie verschiedene Reprofilierungsverfahren

zur Instandsetzung von Kammerwänden. Zudem ist die Erprobung einer Rahmenlösung zum Stemmtoraustausch vorgesehen. Dazu wurde aus den bisherigen Erfahrungen des Projekts IuB eine Auswahl von Vorzugsvarianten getroffen, deren Durchführbarkeit durch die Bauteilversuche nachgewiesen werden soll. [10]

Neben der arbeitstäglichen Sperrzeit von 12 h für die Aufrechterhaltung eines simulierten ununterbrochenen Schifffahrtbetriebs und der Vorgabe, den Schleusenbetrieb der Nachbarkammer zu keinem Zeitpunkt einzuschränken, sind für die Bauteilversuche weitere „IuB-Randbedingungen“, wie z. B. die Einhaltung eines Lichtraumprofils von 11,80 m während der Betriebsphasen, zu berücksichtigen.

In der vorliegenden, aus Kammerblöcken aufgebauten Schleusenkammer sind derzeit keine Stemmtore eingebaut, weswegen für die Arbeiten ein Revisionsverschluss eingesetzt werden soll, der neben einer Trockenlegung zusätzlich auch die Regulierung des Wasserstands gewährleistet. So können von einem Ponton aus Instandsetzungsmaßnahmen in verschiedenen Arbeitshöhen durchgeführt werden.

Von dem Ponton oder der trockengelegten Schleusensohle aus wird zunächst der Altbeton der Kammerwand abgebrochen. Da sich das Fräsen und das Hochdruckwasserstrahlen in anderen Projekten bereits als geeignete Verfahren für den flächigen Abtrag bewährt haben, werden im Zuge der Bauteilversuche beide Varianten zu Beginn angewendet und anschließend anhand der tatsächlich vorliegenden Leistungsdaten verglichen. Daraufhin wird die Vorzugslösung für den weiteren Abtrag verwendet.

Für die anschließend erfolgende Reprofilierung werden verschiedene Instandsetzungsvarianten jeweils an zwei Kammerblockseiten durchgeführt. Zu den Varianten gehört die Herstellung einer neuen Vorsatzschale aus Ortbeton, Spundwänden mit Hinterfüllbeton, Fertigteilen mit Hinterfüllbeton sowie schnell erhärtender Spritzbeton. Für die beiden letzteren Varianten soll bevorzugt ein Stelzenponton eingesetzt werden, der mit einem sog. Schwalbennest ausgerüstet ist, um den instand zu setzenden Bereich während der Reprofilierungsmaßnahmen partiell trocken legen zu können (Abb.4-2).

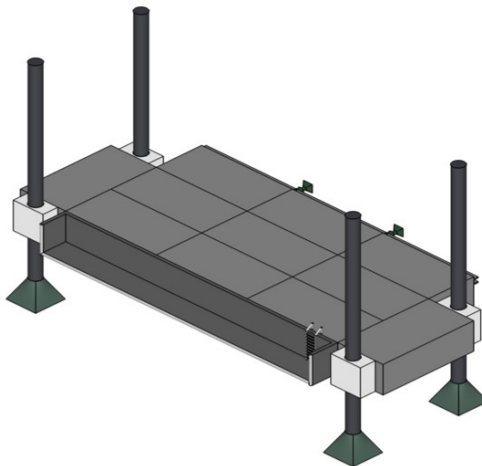


Abb.4-2: Darstellung Stelzenponton *mit Schwalbennest*

In einer weiteren Phase der Bauteilversuche ist die Umsetzung einer Rahmenlösung für den Austausch von Schleusenstemptoren im Unterhaupt vorgesehen. Hierbei werden zwei Kastenprofile über einen vorgefertigten Fachwerkrahmen quer in die Schleusenkammer eingehoben (Abb. 4-3). An den Kastenprofilen werden bereits im Werk die Einbauteile befestigt, die später im Massivbau verbleiben und den Lastabtrag des Stemptors übernehmen. Das Kastenprofil dient dabei als Schablone für die Einbauteile, sodass die hohen Anforderungen an die Toleranzen im Stahlwasserbau eingehalten werden können. Die Fachwerkkonstruktion dient zudem der Ausrichtung der sich gegenüberliegenden Einbauteile der beiden Kammerseiten zueinander.

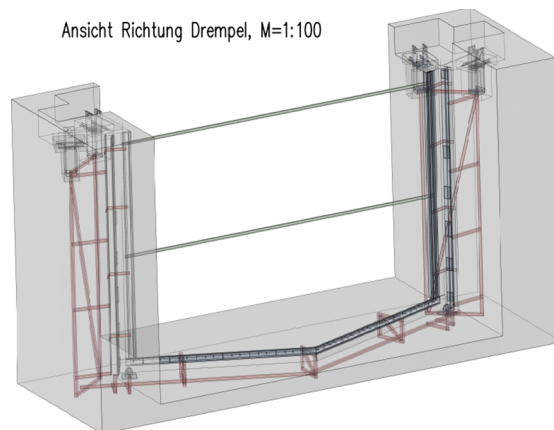


Abb. 4-3: Rahmenlösung zum Stemptoraustausch

4.2 Gewählter Partnering-Ansatz

Die Bauteilversuche werden im Rahmen eines Verhandlungsverfahrens mit vorgeschaltetem europaweitem Teilnahmewettbewerb vergeben. Planung und Bauausführung werden an einen obsiegenden Bieter bzw. eine obsiegende Bietergemeinschaft im Paket vergeben, womit möglichst frühzeitig die Kooperation von Planung und Ausführung angestrebt wird. Zudem sollen durch eine partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen Bietern und Auftraggeber bereits während der Verhandlungsphasen Optimierungsansätze und Innovationen der Bieter zur Umsetzung der Bauteilversuche einfließen.

Durch die Auswahl dieses Verfahrens wird die Identifizierung von Innovationspotentialen für die ausgewählten Instandsetzungsmaßnahmen und eine ggf. darüberhinausgehende Entwicklung angestrebt. Die gewählte Projektabwicklungsform wurde von der beratenden Rechtskanzlei für das Pilotprojekt vorgeschlagen und wird in diesem Zusammenhang als sogenanntes Partnering-Paket-Modell bezeichnet. [11] In der folgenden Abb. 4-4 ist der geplante Ablauf des Projekts schematisch dargestellt. Derzeit befindet sich das Projekt bei der Aufforderung der indikativen Angebote.

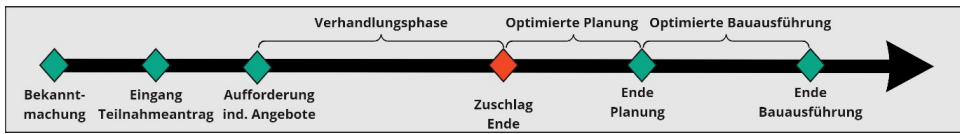


Abb. 4-4 Ablauf Pilotprojekt Bauteilversuche Oberesslingen

Ausgeschrieben wird, sowohl für die Planungs- als auch für die Bauleistungen, auf Basis einer funktionalen Leistungsbeschreibung (FLB). Diese wird im Laufe des Vergabeverfahrens bis zum Zuschlag im gemeinsamen Austausch zwischen Bietergemeinschaften und AG konkretisiert. Es ist nicht davon auszugehen, dass nach dieser Konkretisierung eine abschließende FLB feststeht. Der AN bzw. die bezuschlagte Bietergemeinschaft befindet sich anschließend in einer Planungsphase, in der gemeinsame Optimierungen zugelassen sind.

Nach der Verhandlungsphase, in der u. a. auch Preisschätzungen für die Planungs- und Ausführungsphase von den Bietergemeinschaften abgegeben werden, erlaubt das Modell die Möglichkeit eines Exits. Damit kann bei Uneinigkeit über die eingereichten Lösungen oder Preisvorstellungen die Zusammenarbeit noch vor der Planungs- und Ausführungsphase von beiden Seiten beendet werden. Dieser Exit soll im Rahmen der BTV vom AG nicht ausgeschöpft werden. Stattdessen wird bei Bedarf die Bauausführung je Bauteilversuch als optionale Teilleistung angestrebt, auch wenn hierzu zusätzliche Aufwendungen erforderlich sind.

Bei dem Totalunternehmervertrag handelt es sich um einen gesplitteten Planungs- und Bauvertrag. Darin enthalten sind Elemente, die eine Grundlage für die partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen AN und AG bilden. Beispielsweise ist als ein wesentliches Vertragselement die Festlegung eines partnerschaftlichen Entscheidungsverfahrens enthalten. Die genaue Ausgestaltung dieses Verfahrens wird Gegenstand in der Verhandlungsphase sein, sodass der AN die Möglichkeit hat darauf Einfluss zu nehmen. Das Verfahren soll u. a. festlegen, dass AG und AN gemeinsam die anstehenden zu konkretisierenden Aspekte des Bauablaufs identifizieren. Dazu gehört auch, dass Termine gemeinsam festgelegt werden. Allerdings bedeutet das gemeinsame Entscheidungsverfahren nicht, dass es auch ein gemeinsames Entscheidungsrecht gibt. Dieses liegt über die gesamte Projektdauer beim AG, sodass bei einer fehlenden Zustimmung für eine Lösung neue erforderliche Vorschläge von Seiten des AN unterbreitet werden müssen.

4.3 Vorgeschalteter Interessensdialog

Dem Vergabeverfahren, bestehend aus Teilnahmewettbewerb und Verhandlungsphasen, wurde zusätzlich ein Interessensdialog vorgeschaltet. Der Begriff „Interessensdialog“ wurde gewählt, um den darin stattfindenden Austausch zwischen potenziellen Bietergemeinschaften und Auftraggeber von der Verhandlung abzugrenzen.

Das Ziel des Interessensdialogs besteht darin, noch vor Beginn des eigentlichen Verfahrens Hinweise und Interessen der potenziellen Bietergemeinschaften aufzunehmen.

Damit können sowohl technische als auch vergaberechtliche Anpassungen frühzeitig in das Verfahren einfließen. Im Interessensdialog steht es den Interessenten frei, ob sie bereits als Bietergemeinschaft oder als einzelnes Unternehmen teilnehmen. Die gewählte Konstellation kann im späteren Teilnahmewettbewerb abweichen.

Der Interessensdialog lief in jeder Konstellation nach dem gleichen Schema ab. Nach einer Vorstellung aller Teilnehmer präsentierte der AG die durchzuführenden Bauteilversuche. Anschließend wurde den Teilnehmern das Vergabeverfahren nach dem Partnering-Paket-Modell erläutert. Die Teilnehmer hatten dabei die Möglichkeit, direkte Fragen an den AG zu stellen. Anschließend wurden vorab gestellte Fragen der Interessenten, soweit zu diesem Zeitpunkt möglich und zulässig, beantwortet. Diese wurden ca. eine Woche vor Beginn des Interessensdialogs an den AG gesendet. Umgekehrt versendete auch der AG vorab einen Fragekatalog an die Bietergemeinschaften, um den Fokus auf ausgewählte Fragen legen zu können. Auch auf diese wurde im Rahmen des Interessensdialogs eingegangen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Partnering ist als Managementansatz in der deutschen Bauindustrie bisher nicht weit verbreitet. Allerdings können partnerschaftliche Ansätze vorteilhaft für eine effiziente Umsetzung von Projekten sein. Auch die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) setzt auf partnerschaftliche Zusammenarbeit und orientiert sich dabei an der Reformkommission Bau und einer Strategie zur Planungsbeschleunigung des BMDV. Zur Implementierung partnerschaftlicher Ansätze in die Strukturen der WSV bedarf es jedoch geeigneter Projekte, die mit innovativen Modellen abgewickelt werden können.

Ein Beispiel dafür ist das Pilotprojekt Bauteilversuche Oberesslingen, mit dem verschiedene Instandsetzungsverfahren für eine Instandsetzung unter Betrieb von Schleusenkammern durchgeführt werden. Diese Aufgabe ist nicht nur in technischer, sondern auch in vergaberechtlicher Hinsicht komplex, weshalb von konventionellen Modellen abweichende Formen der Zusammenarbeit angestrebt werden.

Eine große Herausforderung besteht darin den partnerschaftlichen Gedanken trotz konventioneller Strukturen und Vorgaben so zu leben, dass Vertrauen geschaffen wird und eine transparente Kommunikation zwischen allen Beteiligten stattfindet. Dazu gehört es nicht nur, partnerschaftliche Elemente vertraglich zu verankern, sondern auch ein Bewusstsein für den Begriff Partnering im Zusammenhang mit der Abwicklung von Bauprojekten bei den Beteiligten eines Projekts zu schaffen.

Neben den bereits beschriebenen Bestandteilen der partnerschaftlichen Projektabwicklung strebt das TMB an, noch weitere Elemente in das Projekt zu integrieren, die eine partnerschaftliche Zusammenarbeit begünstigen. Hierzu hat bereits ein Workshop mit der Projektgruppe IuB stattgefunden, um weitere Ansätze zu identifizieren. So wurde bereits über Punkte, wie z. B. die Entwicklung einer Projektcharta, Last Planner, Risikoverteilung, Vergütungsmodelle etc., diskutiert.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Statistisches Bundesamt (2021): Beförderungsmenge und Beförderungsleistung nach Verkehrsträgern. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/gueterbefoerderung-lr.html> (Zugriff am: 16. Mai 2021).
- [2] Bundesanstalt für Wasserbau (2021): Wirtschaftsfaktor Bundeswasserstraßen. [Online]. Verfügbar unter: Karlsruhe: BAW. https://www.baw.de/DE/die_baw/die_baw.html?highlight=wirtschaftsfaktor%2Cbundeswasserstra%C3%9Fen (Zugriff am: 16. Mai 2021).
- [3] Wachholz, T. (2017): „Instandsetzung unter Betrieb - Bedeutung für die WSV“. Kolloquium Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb 2017. Karlsruhe, 2017. [Online]. Verfügbar unter: https://henry.baw.de/bitstream/handle/20.500.11970/105157/GesamtTagungsband_Instandsetzung-von-Schleusen-unter-Betrieb_17und18Oktober_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] Westendarp, A. (2017): „BAW/WSV - Projekt „Instandsetzung unter Betrieb““. Kolloquium Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb 2017. Karlsruhe, 2017. [Online]. Verfügbar unter: https://henry.baw.de/bitstream/handle/20.500.11970/105258/03_Westendarp_BAW-WSV-Projekt-Instandsetzung-unter-Betrieb.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [5] Racky, P. (2004): „Status quo und Perspektiven der Bauvertragsgestaltung aus baubetrieblicher Sicht“, 3. IBW-Symposium, 2004.
- [6] Eschenbruch, K. und Racky, P. (2008): Partnering in der Bau- und Immobilienwirtschaft: Projektmanagement- und Vertragsstandards in Deutschland. Stuttgart: Kohlhammer, 2008.
- [7] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. (2005): Partnering bei Bauprojekten, 2005.
- [8] Schmidt, B. (2004): „Erfahrungen mit Partnering- und GMP-Verträgen“, Universität Kassel, 3. IBW-Symposium, 2004.
- [9] Immobilienmanager (2022): Ein Beispiel für die interessenbasierte Toolbox. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.immobiliengenerator.de/ipa-ein-beispiel-fuer-die-interessenbasierte-toolbox-09122020> (Zugriff am: 16. März 2022).
- [10] Bundesanstalt für Wasserbau (2021): Bauteilversuche in der Schleuse Oberesslingen. [Online]. Verfügbar unter: Karlsruhe: BAW. <https://blog.baw.de/wp/?p=2097> (Zugriff am: 15. Juni 2021).
- [11] Heuking (2022): Bundesanstalt für Wasserbau startet mit Heuking innovatives Pilotprojekt zur Sanierung von Schleusen unter Betrieb. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.heuking.de/de/news-events/aktuelle-meldungen/artikel/bundesanstalt-fuer-wasserbau-startet-mit-heuking-innovatives-pilotprojekt-zur-sanierung-von-schleusen-unter-betrieb.html> (Zugriff am: 13. April 2022).

Automatisierte Planung von baubegleitenden Qualitätskontrollen

*Sebastian Seiß*¹

¹ Bauhaus-Universität Weimar Professur Baubetrieb und Bauverfahren, sebastian.seiss@uni-weimar.de

Kurzfassung

Qualität spielt in allen Lebensbereichen eine wichtige Rolle. Gerade die Bauindustrie hat jedoch mit einem eher schlechten Ruf bezüglich der geleisteten Qualität zu kämpfen. Zur Lösung dieses Problems werden unterschiedliche Ansätze verfolgt. Ein Ansatz stellt die Unterstützung der Qualitätssicherung durch digitale Werkzeuge dar. Verschiedene Softwarelösungen wurden erarbeitet, die die Aufnahme und Auswertung von Qualitätsprüfungen unterstützen. Dies führt jedoch nur zu einem verbesserten Management von Mängeln. Für eine zielgerichtete Qualitätssicherung ist es jedoch unerlässlich Qualitätsprüfungen im Voraus zu planen und zu koordinieren. Ziel ist die Vermeidung und frühzeitige Erkennung sowie Beseitigung von Mängeln und Schäden. Die folgende Arbeit zeigt aus diesem Grund einen Ansatz zur automatisierten Planung von Qualitätsprüfungen anhand von Semantic Web Technologien. Das Ableiten von Qualitätsprüfungen erfolgt dabei über Shapes Constraint Language (SHACL) – Regeln auf Basis einer Ontologie. Die Funktionsweise der Regeln wird anhand des Beispielwerks Estrich illustriert.

Schlagwörter: Expertensysteme, Qualitätsprüfungen, Ontologien, SHACL,

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	304
2	Hintergrund.....	305
2.1	Qualität und Qualitätssicherung.....	305
2.2	Bauüberwachung und Planung von Qualitätsprüfungen.....	305
2.3	Regelprüfung mit Semantic Web Technologien	306
2.4	OCQA - Ontologie zur baubegleitenden Qualitätssicherung.....	307
3	Methode.....	308
4	Konzept zur automatisierten Planung von Prüfungen.....	309
4.1	Modularisierung und Zusammenspiel von Regeln	309
4.2	Aufbau und Funktionsweise einer Regel	309
5	Exemplarische Implementierung von Regeln	310
6	Resultate und Diskussion	312
7	Literatur	313

1 Einleitung

Die Baubranche hat ein Qualitätsproblem. Studien der Vereinigte Hannoversche Versicherung (VHV) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Bauforschung (IFB) zeigen, dass die Kosten aus mangelnder Bauqualität in den letzten Jahren stiegen und sich zukünftig keine Veränderung abzeichnet. Digitale Methoden wie Building Information Modelling (BIM) können einen Beitrag zur Verbesserung der Bauqualitäten leisten. Bisher fehlen jedoch Anwendungen zur automatisierten Planung von Qualitätsprüfungen. Dabei stellt die Planung von Prüfungen aufgrund ihrer aufwendigen und informationsgetriebenen Erstellung ein hohes Automatisierungspotenzial dar. Aus diesem Grund möchte die Arbeit eine Methode zur automatisierten Planung von Qualitätsprüfungen aufzeigen und damit einen Beitrag zur Verbesserung der Bauqualitäten leisten. [1, S. 71-92, 2, S. 4-8]

Verschiedene Softwarelösungen unterstützen die Aufnahmen von Qualitäten auf der Baustelle sowie deren Bearbeitung bereits. Softwarelösungen wie Planradar [3], iTWO-Site [4] sowie Dalux [5] u. v. m. fokussieren sich jedoch mehrheitlich auf das Mängelmanagement. Sie beschränken sich somit auf die Aufnahme von Mängeln und deren Verwaltung. Bisher konnten in den Recherchen nur n.Core [6] als Anwendung identifiziert werden, welche die Planung von Prüfungen anhand vordefinierter Prüfbausteine unterstützt.

Ähnliches gilt für den Bereich der Forschung. Bisherige wissenschaftliche Ansätze beschränken sich mehrheitlich auf die Aufnahme und Evaluation von Qualitätskontrollen. So implementiert Zhong et. al. (2012) eine Ontologie zur Aufnahme von Bauqualitäten, belässt die Planung der Qualitätskontrollen als manuelle Planung durch den Endanwender. Die Planungsunterstützung dieser Arbeit beschränkt sich auf die Forderung, dass eine Qualitätskontrolle für eine Bauaufgabe erfolgen muss. [7, 8] Martinez et. al. (2019) entwickelten eine Ontologie, welche relevanten Regelungen für Qualitätskontrollen auf Basis eines Bauwerksinformationsmodells (BIM) ermittelt. Die Implementierung durch Martinez erfolgte über Abfragen in SPARQL. [9] Chen und Luo (2014) verfolgen einen anderen Ansatz. In ihrem Konzept entwickelten sie ein 4D-BIM-basiertes Qualitätsmanagementsystem. Das 4D-BIM wird zur Ermittlung von Qualitätskontrollkriterien und zur Ableitung von Verantwortlichkeiten verwendet. [10] Auch Ma und Chai leiten Inspektionsaufgaben mithilfe eines IFC-Modells und eines fest programmierten Algorithmus ab. Die vorgestellte Methode zur Planung von Prüfaufgaben reduzierte die Zeit für die Planung von Prüfaufgaben messbar. Diese Arbeiten zeigen, dass eine signifikante Verbesserung in der Arbeitsvorbereitungsphase erreicht werden kann. [11] Die Planung von Qualitätsprüfungen erfolgt dabei anhand verschiedener Ansätze. Die vorgestellten Ansätze behandeln das Thema der Prüfplanung nur unzureichend, da sie die Planung von Qualitätsprüfungen nur teilweise abdecken und die Einbeziehung vertraglicher Bestandteile vollkommen vernachlässigen.

Die Implementierung eines Expertensystems zur Planung von baubegleitenden Qualitätsprüfungen erfolgt basierend auf einer Literaturrecherche. Diese dient dazu explizites

Expertenwissen zur Planung von Qualitätsprüfungen zu sammeln, um diese innerhalb eines Expertensystems abzubilden. Die Umsetzung der automatisierten Planung von Qualitätsprüfungen erfolgt anhand von Semantic Web Technologien. Hierzu wird das explizite Expertenwissen zur Planung von Qualitätskontrollen über die Validierungssprache SHACL in das Expertensystem hinterlegt. Die Funktionsweise der Regeln werden mit Hilfe des Beispielgewerks Estrich dargestellt.

2 Hintergrund

2.1 Qualität und Qualitätssicherung

Im allgemeinen Sprachgebrauch bewertet ein Individuum Qualität subjektiv. Diese Bewertungen sind jedoch nur schwer messbar, da sie nicht auf einer technischen Bewertung oder Vereinbarung beruhen und dadurch nicht transparent sind. Nach DIN EN ISO 9000:2005 stellt Qualität den „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt.“ dar. Es wird deutlich, dass es essenziell ist, Qualitäten vor der Erstellung des Produktes oder der Dienstleistung genau zu definieren. Die Definitionen von Qualitätsanforderungen kann projektspezifisch durch Projektbeteiligte sowie projektübergreifend durch Standards, Normen, Richtlinien und Gesetze erfolgen. [12, S. 67] Als Qualitätssicherung wird nach DIN ISO EN 9000 3.3.5-3.3.8 ein „Teil des Qualitätsmanagements, der auf das Erzeugen von Vertrauen darauf gerichtet ist, dass Qualitätsanforderungen erfüllt werden“ verstanden.

2.2 Bauüberwachung und Planung von Qualitätsprüfungen

Unter der Bauüberwachung wird die Dienstleistung zur Überwachung der Errichtung eines Bauwerkes verstanden. Vereinfacht ausgedrückt umfasst die Bauüberwachung den laufenden „Soll-Ist“-Abgleich während der Bauausführung. Die Bauüberwachung beinhaltet die Qualitätsprüfungen und stellt damit eine Maßnahme der Qualitätssicherung dar. Das Ziel der Bauüberwachung ist eine Leistung frei von Sachmängeln nach §13 der VOB/B zu gewährleisten. Qualitätsprüfungen dienen der Prüfung, ob die erbrachte Bauleistung den geforderten Anforderungen u. a. aus vertraglich vereinbarten Leistungen oder aus Regeln entspricht. [13, S. 25-26] Unter Qualitätsprüfung sind Prüfungen zur „Bestimmung der Konformität mit Qualitätsanforderungen zu verstehen“ [14]. Die Durchführung sowie die Ergebnisse von Qualitätsprüfungen müssen in Protokollen und Dokumentationen festgehalten werden [13, S. 27].

Nach DIN 55350 ist unter der Prüfplanung die „Planung einer oder mehrerer Prüfungen“ zu verstehen. Ein Prüfplan beschreibt die „Spezifikation einer oder mehrerer Prüfungen“. [14] Der Prüfplan enthält folglich die Gesamtplanung zur Durchführung der Prüfungen. Die Erstellung des Prüfplans ist vor Beginn der Prüfungen und entsprechend den zu prüfenden Anforderungen auszuarbeiten. [15]

2.3 Regelprüfung mit Semantic Web Technologien

Das Semantic Web bietet offene Standards, Interoperabilität, Flexibilität und Erweiterbarkeit. Hierzu wurden durch das World Wide Web Consortium (W3C) standardisierte Spezifikationssprachen wie RDF, RDFS und OWL veröffentlicht. RDFS und OWL stellen dabei Sprachen dar, um eine Ontologie zu beschreiben, wohingegen RDF die Ausprägungen der realen Welt beschreibt. [16] Unter einer Ontologie ist eine geordnete Wissensdarstellung einer bestimmten Domäne anhand ihrer Begrifflichkeiten zu verstehen. Ontologien bilden Wissen mit Hilfe von Informationen und deren Beziehungen ab und ermöglichen es anhand von Regeln neues Wissen zu schlussfolgern. [17, S. 62] Das bedeutet, dass eine Ontologie versucht, eine domänenspezifische Semantik zu erfassen und sie durch ein Konzept zu beschreiben sowie mit anderen domänenbezogenen Ontologien in Verbindung zu setzen. In dieser Arbeit wird der Begriff Ontologie als eine Wissensbasis oder das Datenmodell verstanden.

Regeln können als Wenn-Dann-Beziehungen verstanden werden. Wenn (if) Bedingung A erfüllt ist, dann (then) ist auch B wahr. (siehe Abb. 2-1) Folglich bestehen Regeln aus einer Prämisse, welche eine Voraussetzung definiert und einer Konklusion, welche die Schlussfolgerung darstellt. Aufgestellte Regeln können immer gelten (deterministische Regel) oder über Ausnahmen ihre Gültigkeit verlieren. [18] [19, S. 73] In dieser Anwendung dienen Regeln dazu, explizites Wissen zur Planung von Prüfungen aus Regelungen, Fachbüchern oder unternehmerischen Prozessen maschinenlesbar abzubilden.

WENN	(Literal ODER Literal)	DANN	Literal UND Literal
	UND NICHT Literal		
PRÄMISSSE			KONKLUSION

Abb. 2-1: Erläuterung zur Funktionsweise einer Regel [18]

Die Implementierung der Regelsprachen erfolgt anhand der von Zhang und Pauwels beschriebenen Schemas. (siehe Abb. 2-2) Die Terminology-Box (T-Box) stellt in diesem Zusammenhang ein Schema dar, welches um die Regeln der Rule-Box (R-Box) erweitert wird. Die Assertion-Box (A-Box) repräsentiert Instanzen, welche der T-Box folgen und durch die R-Box verarbeitet werden. Nach Abbildung 22-2 greift eine Inferenzmaschine auf die A-, T- sowie R-Box zu und leitet anhand der in der R-Box hinterlegten Regeln neues Wissen ab. Das neu geschlossene Wissen aus der Inferenzmaschine wird durch API-Calls oder SPARQL-Abfragen der Anwendung übermittelt und über eine Userinterface dem Nutzer verfügbar gemacht. [20]

Die hier als Regelsprache verwendete Validierungssprache SHACL wurde durch die Organisation W3C mit dem Status Recommendation am 8.09.2015 veröffentlicht. Zusammengefasst kann unter SHACL eine Sprache verstanden werden, die es ermöglicht RDF-Daten zu validieren oder neues Wissen aus diesen zu schließen. [21], [22]

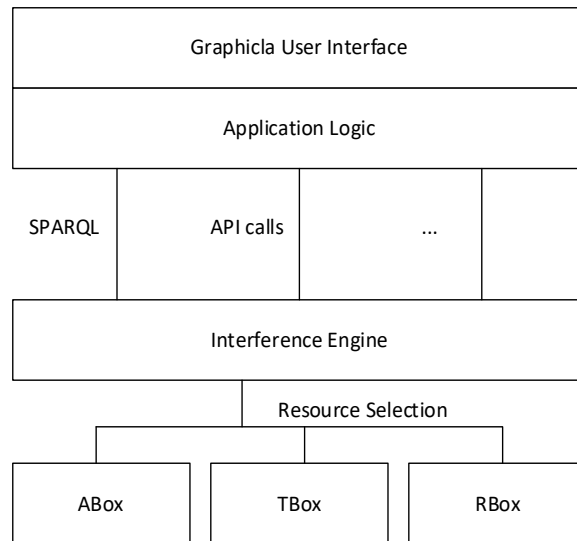


Abb. 2-2: Funktionaler Aufbau eines Systems unter Verwendung einer dedizierten Regelsprache [20]

2.4 OCQA - Ontologie zur baubegleitenden Qualitätssicherung

Um die Planung von Prüfungen durchführen zu können sind Informationen notwendig. Diese Informationen werden in einer Ontologie gesammelt und gespeichert und dienen als Informationsquelle für die automatisierte Planung von Prüfungen. Die Ontologie enthält Informationen über das zu errichtende Bauwerk, den Bauablaufplan sowie vertragliche Vereinbarungen bspw. dem LV. Sie ermöglicht es anhand von T-Box und R-Box Schlussfolgerungen über notwendige Prüfungen zu führen. Die in dieser Arbeit verwendeten Ontologien können in Abb. 2-3 eingesehen werden.

Die zentrale Ontologie stellt die ontology for construction quality assurance (OCQA) dar. Sie definiert die Hauptentitäten, wie Bauaktivität, Kontrollaktivität, Prüfung oder Prüfmethode. (siehe Abb. 2-4) Die OCQA kann durch gewerke- oder unternehmensspezifische Ontologien für den jeweiligen Anwendungsfall weiter spezifiziert werden. Beispielhaft sind hier die Ontologien OCQA-Betonbau und OCQA-Estricharbeiten dargestellt. Die Modularisierung ermöglicht eine hohe Flexibilität und Erweiterbarkeit für unterschiedliche Gewerke. Des Weiteren kann so die Komplexität der Ontologierstellung reduziert werden.

Zusätzlich zur Modularisierung können Ontologien um weitere bestehende Ontologien erweitert werden. In dem Gesamtsystem wird die Repräsentation von Bauwerk, Terminplan, Personen, Firmen u. v. m. durch die DICON Ontologie abgedeckt. DICON stellt eine auf die Bauausführung spezialisierte Ontologie dar. Sie verknüpft selbst ebenfalls weitere Ontologien, wie bspw. die Building Ontology Topology oder die IFCOWL zur Repräsentation von Bauwerken. [23]

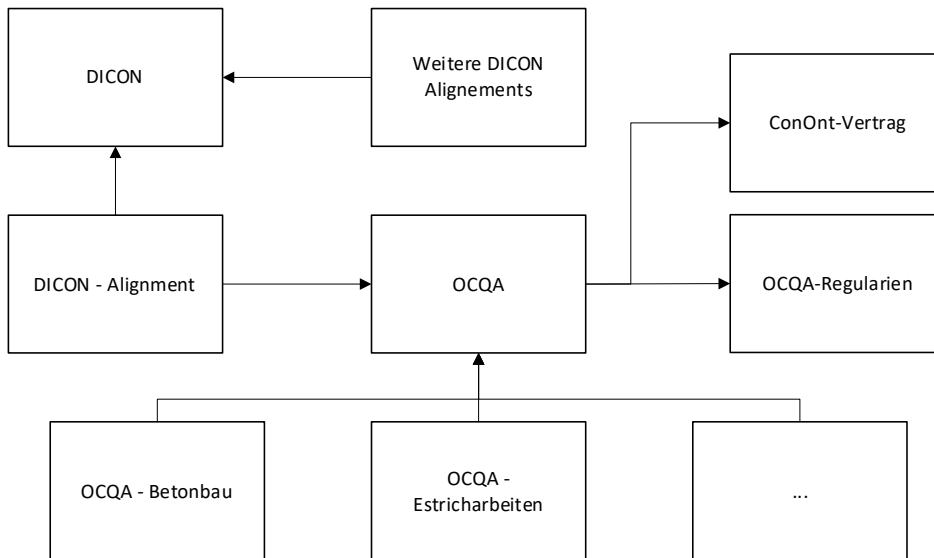


Abb. 2- 3: Anbindung von OCQA an unterschiedliche Ontologien zu einem Gesamtsystem

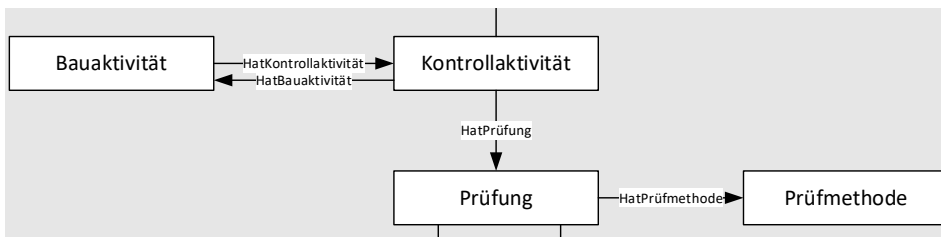


Abb. 2- 4: Hauptentitäten der OCQA Ontologie

3 Methode

Basierend auf einer Literaturrecherche wurde gezeigt, dass bisher keine Systeme bestehen, die eine automatisierte Erstellung einer Prüfplanung unterstützen. Es soll gezeigt werden, ob Prüfungen des Vorgewerks durch das Nachgewerk automatisiert geplant werden können. Aus diesem Grund wurde auf Basis von bestehenden Ontologien die OCQA Ontologie erstellt. (siehe Kapitel 2.4) Die in der OCQA Ontologie enthaltene T-Box dient als Basis zur Implementierung von Regeln (R-Box), welche die automatisierte Planung von Prüfungen abdecken. Kapitel 4 erläutert das generelle Konzept zur automatisierten Planung von Prüfungen. Die Umsetzung und Validierung des Konzeptes und die darin enthaltenen Regeln erfolgt anhand des Beispielgewerks Estrich in Kapitel 5. Bei Estrich handelt es sich um ein Ausbaugewerk, welches auf Leistungen von Vorgewerken angewiesen ist. Des Weiteren stellt Estrich ein Gewerk mit den häufigsten Mängeln dar. [2] Das Expertenwissen zur Implementierung der Regeln wird aus dem explizit vorgehaltenen Wissen in gängigen Handbüchern und Regelungen abgeleitet.

4 Konzept zur automatisierten Planung von Prüfungen

4.1 Modularisierung und Zusammenspiel von Regeln

Die Komplexität der unterschiedlichen Teilbereiche der Qualitätsprüfungen kann nicht durch eine Regel abgedeckt werden. Aus diesem Grund werden die Regeln modular miteinander verknüpft, was ein zielgerichtetes und flexibles Ableiten von Qualitätsprüfungen aus Ausführungsunterlagen ermöglicht. Durch die Modularisierung können neue Regeln hinzugefügt sowie Regeln ausgelassen werden.

Die Implementierung der Regeln zur Prüfung des Vorgewerks erfolgt in Analogie zu der menschlichen Bearbeitung. In der ersten Regel wird die Vorleistung des Estrichs identifiziert und mit der Erstellung des Estrichs in Relation gesetzt. Basierend auf dieser Relation wird für die Vorleistung eine Prüfaktivität angelegt und die zugehörigen Prüfungen bestimmt. In einem weiteren Schritt wird den Prüfungen ein Prüfverfahren zugeordnet sowie das zu verwendende Prüfprotokoll. Das Prüfverfahren gibt die Durchführung der Prüfung vor und unterstützt den Prüfer bei der Ausführung der Prüfung. Das Resultat stellt eine variable und automatisierte Prüfplanung dar, welche an die Erfordernisse des Projektes oder den unternehmenbezogenen Anforderungen angepasst wird.

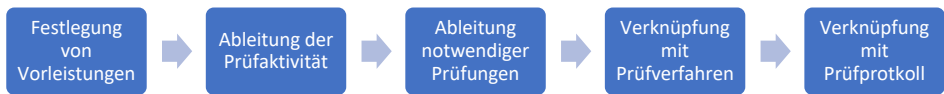


Abb. 4-1 Schritte zur Erstellung eines vollständigen Prüfplans

4.2 Aufbau und Funktionsweise einer Regel

Der Aufbau der verwendeten Regeln erfolgt stets nach dem gleichen Schema. Das Schema gliedert sich in 4 Schritte (siehe Abb. 4-2).

i) Zuerst muss die Regel prüfen, ob diese ausgeführt werden muss oder nicht. Hierbei ist zwischen Regeln zu unterscheiden, die unternehmensspezifisch sind oder vertraglich vereinbart wurden. Es wird somit geprüft, ob die Regel überhaupt gefordert ist. Dieser Schritt wird über eine sh:Condition ermöglicht. Des Weiteren muss geprüft werden, ob die Regel aktiviert oder deaktiviert ist.

ii) Im zweiten Schritt wird die Durchführung Regeln anhand der Bauaktivitäten sowie der Bauteile gesteuert. Die Durchführung der Prüfung wird anhand der sh:TargetClass sowie sh:Condition gesteuert. Die sh:TargetClass beschreibt, auf welche Instanzen einer Klasse eine Regel durchgeführt wird. Beispielsweise kann die sh:TargetClass so formuliert werden, dass die Regel nur Bauteile betrifft, die als Estrich klassifiziert sind und gleichzeitig mit einer Deckenplatte in Verbindung stehen. In den sh:Conditions wiederum können Bedingungen definiert werden, die von den ausgewählten Instanzen einer Klasse eingehalten werden müssen.

iii) Als Letztes kann nun die Regel ausgeführt werden. In dieser erfolgt das eigentliche Schlussfolgern von neuem Wissen. Hierbei werden Prüfkativitäten und Prüfungen erzeugt und bspw. mit Prüfmethode und Verantwortlichen zu deren Durchführung verknüpft. Die Hinterlegung von Prüfungen und Prüfkativitäten erfolgt über die Erzeugung neuer Instanzen.

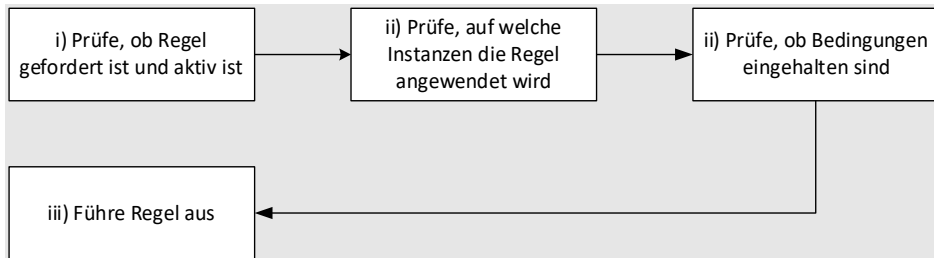


Abb. 4-2: Funktionsweise der hinterlegten Regeln

5 Exemplarische Implementierung von Regeln

Die Umsetzung einer automatisierten Planung von Prüfungen soll für die Vorgewerke des Gewerks Estrich umgesetzt werden. Als Ausbaugewerk ist Estrich auf die Ausführung von Vorgewerken angewiesen. Deshalb muss eine baubegleitende Qualitätssicherung bei der Prüfung des Vorgewerks ansetzen. Dies wird durch die Prüfungspflicht des Estrichunternehmers unterstrichen. [24, S. 243]

Für die Erstellung der Prüfungen wurde auf die Normenreihe DIN 18560, die Norm DIN 13813, DIN 18203 Toleranzen im Hochbau sowie Fachliteratur zur baubegleitenden Qualitätssicherung von Estrichen herangezogen. Die Recherche ergab, dass die Prüfungen teilweise zweistufig erfolgen, um den Aufwand der Prüfungen reduzieren zu können. In einem ersten Schritt werden gezielte Sichtprüfungen des Vorgewerks gefordert. Falls diese Sichtprüfungen Zweifel an der Qualität des Vorgewerks offenlegen, muss aufbauend auf diesen eine genauere Prüfungen durchgeführt werden.

Im Folgenden soll die beispielhafte Implementierung zur Ableitung von Ebenheitsprüfungen des Nachgewerks Estrich auf Basis der Vorleistung Stahlbetondeckenplatten dargestellt werden. Hierzu wird ein Verbundestrich betrachtet, welcher direkt auf der Deckenplatte über eine Haftbrücke ausgeführt wird. Wie bereits beschrieben, können Regeln modular hinterlegt werden und sich gegenseitig aufrufen. Dies ermöglicht eine Validierung einzelner Prüfsituationen.

Zur besseren Veranschaulichung des Systems wird in einem ersten Codebeispiel das Ableiten der notwendigen Sichtkontrollen dargestellt (Quellcode 5-1). Aufgrund des begrenzten Platzangebots sind die auszuführenden Funktionen in eckigen Klammern beschreibend dargestellt. Die Sichtkontrolle zur Prüfung der Stahlbetondecke ergibt sich auf Basis der Art des Estrichs und aus den aufeinander folgenden Schichten Stahlbeton

und Estrich in der Deckenplatte. Sind diese Bedingungen erfüllt, wird die Prüfung dem Bauteil zugeordnet.

Quellcode 5- 1: Schließen der Sichtprüfung des Vorgewerks

```
ocqa_screed:SichtprüfungVorgewerkEstrich
a sh:nodeShape;
sh:targetClass [Deckenschichten]
sh:condition [
  [Bedingung1_ Zur Deckenschicht zugehörige Decke enthält weitere Deckenschicht mit
    Stahlbeton]
  [Bedingung2_Deckenschicht ist vom Typ Verbundestrich]
  [Bedingung3_Deckenschicht ist mit Aktivität Estrich herstellen verbunden]
  [Bedingung4_Deckenschicht ist mit Aktivität Stahlbetondecke herstellen verbunden]
];
sh:rule [
  a sh:TripleRule ;
  sh:subject sh:this;
  sh:predicate rdf:hasInspection;
  sh:object [URI-Generierung für Prüfkaktivität];
];
```

Basierend auf der Definition der Prüfungen kann eine Kontrollaktivität erzeugt werden. Hierzu muss ein neues Individual erstellt werden. Die Kontrollaktivität fasst alle Prüfungen zusammen, die zur Prüfung eines Vorgewerks notwendig sind. Die Kontrollaktivität enthält ein Start- und Enddatum sowie einen Verantwortlichen, der die Prüfungen ausführen kann. Weiterhin können der Prüfung entsprechende Prüfmethode zur Durchführung der Prüfung hinzugefügt werden.

Die Regel zur Ableitung einer Ebenheitsprüfung auf Basis eines in der Sichtprüfung aufgenommenen Mangels, zur Unebenheit der Decke, kann im Quellcode 5-2 eingesehen werden. In diesem wird anhand der Bedingung, dass bisher noch keine Ebenheitsprüfung aus der Sichtprüfung erstellt wurde, eine Ebenheitsprüfung nach DIN 18203 erzeugt.

Quellcode 5- 2: Ableiten einer Prüfung und Klassifizierung auf Basis einer in einer Sichtprüfung festgestellten Unebenheit

```

ocqa_screed:Ebenheitsprüfung
a sh:nodeShape;
sh:targetClass [Unebenheit aus Sichtprüfung]
  sh:rule [
    a sh: SPARQLRule;
    sh:condition [
      [Bedingung1_Es wurde noch keine Ebenheitsprüfung für die Unebenheit aus der
        Sichtprüfung abgebildet]
    ];
    sh:construct """
      CONSTRUCT
        [[URI-Generierung für Prüfkaktivität]? ocqa:hasRecord $this;
                                     rdf:type ocqa_screed:Ebenheitsmessung;
                                     ocqa:hasInspectionMethod ocqa_screed:
                                     Ebenheitmessung_RichtlatteMesskeil;
                                     ocqa:described_by ocr:DIN18202.}
      """ ;
  ];
.
```

6 Resultate und Diskussion

Die Implementierung zeigt, dass Qualitätsprüfungen über Regeln automatisiert geplant werden können. Aufgrund der gewählten Modularisierung und der Regelsprache können beliebige Regeln unterschiedlichster Funktionalität implementiert und aufeinanderfolgend angewendet werden. Der Arbeitsaufwand zur Planung von Qualitätskontrollen entfällt und beschränkt sich auf die Kontrolle und Anpassung des ermittelten Prüfplans. Darüber hinaus können Fehler, bspw. durch falsche Verweise auf Normen sowie nicht relevante Kontrollen innerhalb der Prüfplanung ausgeschlossen werden. Ein

weiterer Vorteil besteht in der automatisierten Anpassung der Prüfplanung durch Veränderungen im Bauablauf oder im Bau-Soll.

Es wird deutlich, dass die Implementierung der Regeln bisher aufwändig ist und entsprechendes Fachwissen benötigt. Aus diesem Grund ist in der weiteren Forschung zu untersuchen, wie die Implementierung der Regeln effektiver erfolgen kann. Hierzu könnten bspw. decision modelling notation -Tabellen zu Hilfe genommen werden, um Regeln graphisch hinterlegen zu können. [25]

Weiterer Entwicklungsbedarf besteht in der Auswahl der Prüfmethode. Für bestimmte Prüfungen kommen mehrere Prüfverfahren in Frage, welche auf Grundlage von verschiedenen Faktoren wie bspw. verfügbarem Gerät, Qualifikation des Personals sowie Aufwand ausgewählt werden.

7 Literatur

- [1]H. Böhmer, T. Brinkmann-Wicke, S. Sell, J. Simon und C. Tebben, VHV-Bauschadenbericht: Hochbau 2019/20. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2020.
- [2]Institut für Bauforschung e.V., Die 10 häufigsten Mängel bei der Errichtung von Ein- und Zweifamilien- häusern (vermeiden): Gemeinschaftsprojekt vom Institut für Bauforschung e.V. und dem Bauherren-Schutzbund e.V. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bsb-ev.de/fileadmin/user_upload/1_Startseite/Politik_und_Presse/Analysen_und_Studien/Maengel_bei_EFH_ZFH_Kurzstudie_BSB.pdf.
- [3]PlanRadar, Baudokumentation und Mängelmanagement mit PlanRadar. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.planradar.com/de/> (Zugriff am: 14. April 2022).
- [4]iTWO site : RIB Leipzig GmbH. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.rib-leipzig.com/itwo-site/> (Zugriff am: 14. April 2022).
- [5]Dalux, Dalux Field | Mobiles Tool zur einfachen Mängelerfassung. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dalux.com/de/qualitaetssicherung/maengelerfassung/> (Zugriff am: 14. April 2022).
- [6]n.core, Mängel vermeiden - bevor sie entstehen!. [Online]. Verfügbar unter: <https://ncore-build.de/> (Zugriff am: 14. April 2022).
- [7]B.T. Zhong, H.B. Luo, Y.Z. Hu, and J. Sun, „Ontology-Based Approach for Automated Quality Compliance Checking against Regulation in Metro Construction Project: China“ in Lecture Notes in Electrical Engineering, 148, Proceedings of the 1st International Workshop on High-Speed and Intercity Railways: Volume 2, Y.-Q. Ni und X.-W. Ye, Hg., 1 Aufl., s.l.: Springer-Verlag, 2012, S. 385–396.
- [8]B. T. Zhong, L. Y. Ding, H. B. Luo, Y. Zhou, Y. Z. Hu und H. M. Hu, „Ontology-based semantic modeling of regulation constraint for automated construction quality compliance checking: China“, Automation in Construction, Jg. 28, S. 58–70, 2012, doi: 10.1016/j.autcon.2012.06.006.
- [9]P. Martinez, R. Ahmad und M. Al-Hussein, „Automatic Selection Tool of Quality Control Specifications for Off-site Construction Manufacturing Products: A BIM-based Ontology Model Approach: Alberta“, mocs, S. 141–148, 2019, doi: 10.29173/MOCS87.
- [10]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.

- [11]Z. Ma, N. Lu und S. Wu, „Identification and representation of information resources for construction firms“, *Advanced Engineering Informatics*, Jg. 25, Nr. 4, S. 612–624, 2011, doi: 10.1016/j.aei.2011.08.008.
- [12]F. Würfele, B. Bielefeld und M. Gralla, *Bauobjektüberwachung: Kosten - Qualitäten - Termine - Organisation - Leistungsinhalt - Rechtsgrundlagen - Haftung - Vergütung*, 2. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2012. [Online]. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-8147-2>
- [13]Institut für Bauforschung, *Baubegleitende Qualitätssicherung: Erkennen und Vermeiden von Planungs- und Ausführungsfehlern ; mit 45 Tabellen*. Köln: Müller, 2012.
- [14]DIN 55350:2021-10, *Begriffe zum Qualitätsmanagement*, Berlin.
- [15]H. Brüggemann und P. Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement: Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM*, 3. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020.
- [16]P. Hitzler, M. Krötzsch, S. Rudolph und Y. Sure-Vetter, *Semantic Web: Grundlagen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. [Online]. Verfügbar unter: <http://swbplus.bsz-bw.de/bsz276343212cov.htm>
- [17]P. Mertens, F. Bodendorf, W. König, A. Picot und M. Schumann, *Grundzüge der Wirtschaftsinformatik*. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, 2001.
- [18]K. Hartmann, *Einführung in die Expertensystem-Technologie*. Merseburg: Hochschulverl., 2015.
- [19]C. Beierle und G. Kern-Isberner, *Methoden wissensbasierter Systeme: Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen*, 6. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019.
- [20]P. Pauwels und S. Zhang, „Semantic Rule-checking for Regulation Compliance Checking: An Overview of Strategies and Approaches“ in *CIB W78 Conference 2015*,, S. 619–628.
- [21]Shapes Constraint Language (SHACL). [Online]. Verfügbar unter: <https://www.w3.org/TR/shacl/> (Zugriff am: 7. Oktober 2021).
- [22]SHACL Advanced Features. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.w3.org/TR/shacl-af/> (Zugriff am: 7. Oktober 2021).
- [23]Digital Construction Ontologies (DiCon). [Online]. Verfügbar unter: <https://digitalconstruction.github.io/v/0.5/index.html> (Zugriff am: 15. April 2022).
- [24]H. Timm, T. Allmendinger und N. Strehle, *Estriche, Parkett und Bodenbeläge: Arbeitshilfen für die Planung, Ausführung und Beurteilung*, 6. Aufl. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.springer.com/>
- [25]About the Decision Model and Notation Specification Version 1.3. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.omg.org/spec/DMN/1.3/About-DMN/> (Zugriff am: 18. April 2022).

Lowtech-Gebäude als nachhaltige Alternative?

Carolin Senkel¹

¹ TU Dresden, Institut für Baubetriebswesen, carolin.senkel@tu-dresden.de

Kurzfassung

Die aktuelle Gesetzgebung im Gebäudesektor schreibt als Beitrag zum Klimaschutz die Erreichung gewisser Energieeffizienzwerte vor. Diese beziehen sich jedoch ausschließlich auf die Nutzungsphase des Gebäudes und berücksichtigen darin nicht die restlichen Phasen eines Gebäudelebenszyklus. Daraus entstehen hochtechnisierte Gebäude, bei denen zwar die Technik im Gebäude höchst effizient ist, die graue Energie zur Herstellung, Rückbau und Recycling jedoch vernachlässigt wird. Langfristig ist dieser Ansatz nicht nachhaltig. Deshalb ist es Zeit für einen Paradigmenwechsel hin zu mehr Suffizienz. Ein Lösungsansatz im Gebäudesektor ist das Lowtech-Konzept. Darin wird der Fokus wieder mehr auf die Baukonstruktion gelenkt, die bauphysikalischen Eigenschaften der ohnehin genutzten Konstruktion voll ausgenutzt und der minimale Restenergiebedarf dann mit einfacher Gebäudeenergietechnik gelöst. Dieser Gebäudeansatz kann in allen drei Nachhaltigkeitsbereichen ganzheitliche Vorteile bringen. Es sind jedoch auch einige Herausforderungen zu lösen, die vom Gebäudetyp abhängen. Es muss für jedes Gebäude die technische Machbarkeit und der Umsetzungsgrad geprüft werden, denn insbesondere für die höchste Kategorie sind bestimmte Bedingungen zum Standort und der Nutzung eine unumgängliche Voraussetzung.

Schlagwörter: Lowtech-Gebäude; zukunftsfähig; nachhaltig; Post-Pandemie; Klimawandel; Gebäudeenergiestandard; gesellschaftliche Akzeptanz

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung	318
2	Lowtech als nachhaltige Lösung	318
2.1	Definitionsproblematik	318
2.2	Technische Machbarkeit von Lowtech-Gebäuden	320
2.3	Vorteilhaftigkeit von Lowtech-Gebäuden	321
3	Forschungsmethodik	325
4	Fazit und Ausblick	328
5	Literatur	329

1 Problemstellung

Mit voranschreitendem Klimawandel werden ehrgeizige Ziele und Strategien zum Klimaschutz zunehmend dringlicher. Bisherige politische Strategien fokussieren eine stetige Steigerung der Effizienz von Gebäuden in der Nutzungsphase. Zusätzlich zu den gesetzlichen Vorgaben wird diese Strategie noch durch bisherige Bundesförderungen verstärkt. Das Resultat dieser Strategie ist die zunehmende Technisierung der Gebäude, um noch einen höheren Effizienzgrad vorzuweisen. Dabei werden die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) jedoch nicht ganzheitlich betrachtet, denn die graue Energie für Herstellung und Entsorgung der Technik wird nicht einbezogen. Die daraus resultierende hochkomplexe Technik zieht zudem viele Nachteile nach sich. Es ist eine hohe Fachexpertise bei Planern und Ausführenden nötig, um von der Planung bis zum Rückbau einen effizienten Einsatz zu gewährleisten. Die Technik ist mit steigendem Komplexitätsgrad auch zunehmend störanfälliger, was nur durch qualifiziertes Fachpersonal gelöst werden kann. Das kollidiert mit dem wachsenden Fachkräftemangel in Deutschland. Der sogenannte Performance Gap, also die Differenz zwischen dem berechneten Energiebedarf und dem tatsächlichen Energieverbrauch, wird häufig auch größer als erwartet. [1] Ein weiterer Nachteil sind die enormen Investitionskosten für eine hochkomplexe TGA, die besonders von privaten Bauherren nicht immer finanzierbar sind und häufig durch öffentliche Förderungen kompensiert werden müssen. Nach der Baukostensenkungskommission des Bundes ist der Anteil der Investitionskosten für Technische Anlagen (Kostengruppe 400), insbesondere für die Wärmeversorgungsanlagen (KG 420), deutlich stärker gestiegen als der Verbraucherpreisindex und sogar deutlich höher als die Kosten für Baukonstruktionen (KG 300). [2] Hinzu kommen weitere Herausforderungen während der Nutzungsphase, wie laufende Betriebs- und Instandsetzungskosten, ein Ausfallrisiko sowie die meist nicht intuitive Bedienbarkeit der Anlagen. Diese vielen Nachteile führen zunehmend zur Unzufriedenheit bei Nutzern, was zu einer verallgemeinernden Ablehnung energieeffizienter Gebäude und Maßnahmen führen kann. Damit ist die aktuelle Bundesstrategie mit den daraus resultierenden Gebäudeenergiestandards nicht in allen drei Bereichen ganzheitlich nachhaltig.

2 Lowtech als nachhaltige Lösung

2.1 Definitionsproblematik

Welches Konzept könnte also ganzheitlich nachhaltig sein, sodass soziale, ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber der aktuellen Strategie entstehen? Ein möglicher Ansatz sind Lowtech-Gebäude. Dieses Konzept zielt in eine andere Richtung als die bisherigen Konzepte energieeffizienter Gebäude. Lowtech-Gebäude charakterisieren sich durch eine standortspezifische Baukonstruktion, die den klimatischen Komfort im Ge-

bäude bereits so ausreichend abdeckt, dass nur noch ein sehr geringer Restenergiebedarf durch die Gebäudetechnik kompensiert werden muss. Dieser Ansatz steht jedoch nicht im Widerspruch zur Smart-Home-Entwicklung, sondern lenkt den Fokus wieder mehr auf die Überlegung, welche Technik im gesamten Lebenszyklus einen nachhaltigen Mehrwert hat. Es soll also im Kontext der Suffizienz auf das Nötigste reduziert werden und nicht mehr unreflektiert jede verfügbare Technikkomponente verbaut werden.

Jedoch ist das Definieren dieses Konzepts ein Problem, da es weder Benchmarks zur Energieeffizienz noch zu anderen messbaren Größen gibt. Bisher gibt es verschiedene verbalisierte Definitionsansätze, die jedoch im Kern alle dasselbe aussagen. [3] Eine zusammenfassende Definition lautet: „Low-Tech Gebäude sind energieeffizient, ressourcenschonend und wirtschaftlich. Sie sind robust und auf eine lange Lebensdauer ausgelegt. Ihre Baukonstruktion ist entsprechend geplant und ausgeführt und bietet den Nutzenden Behaglichkeit im gesamten Jahresverlauf. Die noch notwendige, reduziert eingesetzte Gebäudetechnik ist einfach in Bedienung und Instandhaltung.“ [4]

Zur Umsetzung eines Lowtech-Gebäudes können verschiedene Strategien angewendet werden. Die Autorin dieses Aufsatzes differenziert diese in zwei Kategorien: im WEITEREN SINN und im ENGEREN SINN (siehe Tab. 2-1). In der Kategorie im WEITEREN SINN steht insbesondere eine reduzierte Gebäudetechnik im Mittelpunkt. Dies kann durch unterschiedliche Strategien wie durchdachte Baumaterialien und –konstruktionen sowie ressourcenschonendes, robustes und einfaches Bauen realisiert werden. Während der Planung und Ausführung sollte auf alle Merkmale der Kategorie geachtet werden. Der Lowtech-Ansatz im ENGEREN SINN beschreibt den vollständigen Verzicht der TGA für Heizung, Lüftung und Kühlung. Die Realisierung dieses strikten Verzichts setzt jedoch die Umsetzung einzelner Strategien aus der anderen Kategorie voraus.

Definitionsmerkmale von Lowtech-Gebäuden	
IM WEITEREN SINN	
Reduzierte Gebäudetechnik	
Einfache Details	Natürliche Materialien
Fokussierte Baukonstruktion	Einfache Austauschbarkeit
Ressourceneffizienz	Passive Wärmegewinne
Speichermasse	Grundrissflexibel
Resilienz	Suffizienz
IM ENGEREN SINN	
Verzicht auf	Heizungsanlage
	Lüftungsanlage
	Kühlungsanlage

Tab. 2-1: Definitionsmerkmale von Lowtech-Gebäuden

2.2 Technische Machbarkeit von Lowtech-Gebäuden

Die technische Machbarkeit der einzelnen Lowtech-Strategien ist Voraussetzung für die weiteren Betrachtungen. Dabei wird die Machbarkeit insbesondere mithilfe der Einhaltung des thermischen Komforts im Innenraum bewertet. Dabei stellt sich bereits die Frage, ob der thermische Komfort wie beispielsweise Innenraumtemperatur in der Heiz- und Kühlperiode jederzeit die entsprechenden Normwerte einhalten muss oder ob bereits hier eine Suffizienz einsetzen kann und eine zeitweise Über- oder Unterschreitung zumutbar wäre. Die konkrete Machbarkeit muss selbstverständlich bei jedem Gebäude individuell simuliert und überprüft werden, wobei sich bereits im Vorfeld anhand von verschiedenen Eigenschaften der Gebäudearten Tendenzen ableiten lassen.

Das bekannteste Lowtech-Gebäude ist das Bürogebäude be 2226 in Lustenau (Österreich), welches aufgrund seiner durchdachten Gebäudehülle mit einer zusätzlichen Außenwandziegelreihe und sensorgesteuerten Fensterflügeln ohne Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik auskommt. Deshalb kann es definitionsgemäß zu Lowtech-Gebäuden IM ENGEREN SINN kategorisiert werden. Lowtech-Gebäude IM WEITEREN SINN sind mit Erfüllung einzelner Kriterien (siehe Tab. 2-1: Definitionsmerkmale von Lowtech-Gebäuden¹) für alle Gebäudearten technisch umsetzbar, unabhängig derer Nutzung und ob Neubau oder Sanierung. Auch andere Gebäudearten wie Sporthallen, Wohnheime, Mehr- und Einfamilienhäuser wurden bereits mit dem Lowtech-Ansatz im ENGEREN und im WEITEREN SINN realisiert.

Es gibt jedoch auch Gebäudearten mit erhöhten Anforderungen an die Klimatisierung großer Bereiche wie Produktionshallen, Lagerhallen für Lebensmittel, Schwimmhallen oder Hotels, bei denen der Lowtech-Ansatz im ENGEREN SINN nicht umsetzbar sein könnte. Bei dem bereits benannten Bürogebäude be 2226 werden hochtechnisierte Fenstersensoren und eine Gebäudeautomation zur algorithmierten Berechnung der wahrscheinlichen Raumtemperatur in Abhängigkeit der prognostizierten Außentemperaturen (Model Predictive Control) eingesetzt, um die Komfortbedingungen von 22° bis 26° C ganzjährig zu erreichen. Dieser Einsatz von Hightech-Sensoren ist im Sinne der Nachhaltigkeit umstritten, macht jedoch den strikten Verzicht auf Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungsanlagen überhaupt möglich.

Hinsichtlich der Nutzung haben Bürogebäude das höchste technische Potenzial für den Einsatz von Lowtech-Strategien. Durch die langen Nutzungszeiten von 10 bis 12 Stunden pro Tag können in der Heizperiode die inneren Wärmegewinne durch Personen, technische Geräte und Beleuchtung zur Minimierung der Dimensionierung der Wärmeversorgung beitragen. Ebenfalls trägt die häufig hohe Anzahl massiver Büroinnenwände durch die erhöhte Speichermasse zur Minimierung der Wärmeversorgung und im Zusammenhang mit einer intensiven Nachtlüftung auch zur Reduzierung der Kälteversorgung bei. Seit der Industrialisierung haben Bürogebäude einen zunehmend hohen Technisierungsgrad, der mit vermeintlich besseren Arbeitsleistungen in den Sommermonaten und höheren Personenbelegungen argumentiert werden kann. Die Lowtech-Strategien können dafür jedoch eine ökologische und ökonomische Alternative sein.

Auch die CO₂- und Luftfeuchtelast kann durch ausreichend natürliche Lüftung auf ein akzeptables Maß verringert werden.

2.3 Vorteilhaftigkeit von Lowtech-Gebäuden

2.3.1 Ökologische Vorteile

Der Gebäudesektor nimmt 30-40 % des CO₂-Emissionen in Deutschland ein. Drei von vier Gebäuden sind Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH). Wird die Verteilung des Energieverbrauchs betrachtet, wird deutlich, dass auch in diesem Bereich die EZFH die Mehrheit einnehmen (39%), gefolgt von Nichtwohngebäuden mit 37% und Mehrfamilienhäusern mit 24%. Zudem sind 68% des Endenergieverbrauchs bei Wohngebäuden allein die Raumwärme. [5] [6] [7] [8] [9] Daraus lässt sich schließen, dass in diesem Bereich ein großes Mengenpotenzial zu Einsparungen besteht und ein hoher Multiplikatoreffekt bei positiven Veränderungen durch Lowtech-Gebäude erzielt werden könnte.

Die ökologische Vorteilhaftigkeit für die zwei Kategorien von Lowtech-Gebäuden lässt sich anhand der Definitionsmerkmale herleiten. Für Lowtech-Gebäude im ENGEREN SINN entstehen allein durch den Verzicht auf Heizungs-, Lüftungs- und Kühlanlagen bei der Herstellung hohe Energie- und Ressourceneinsparungen. Bei EFH können Technikkomponenten im Extremfall die Hälfte der umweltbezogenen Auswirkungen (ohne Betrieb) des Gebäudes hervorrufen. [10] In einer vereinfachten Gegenüberstellung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zu den erforderlichen baukonstruktiven Veränderungen eines Lowtech-Gebäudes (in Anlehnung an die Konstruktionsweise des be 2226) für ein repräsentatives EFH sind die THG-Emissionen für Herstellung, Rückbau und Recycling mit etwa 10t gleich (siehe Tab. 2-2). Durch den zusätzlich eingesparten Strom für den Betrieb der Wärmepumpe halbieren sich sogar die THG-Emissionen des Lowtech-Gebäudes zu denen des Referenzgebäudes bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren.

Mit Minimierung der TGA verkleinern sich zusätzlich die Technikflächen, was zu weiteren Reduzierungen von THG-Emissionen und der Flächeninanspruchnahme führt. Die weiteren Kriterien aus der Kategorie im WEITEREN SINN bringen zu unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus ökologische Vorteile mit sich. Insbesondere die Verwendung natürlicher Baustoffe gewinnt durch die allgegenwärtige Ressourcenknappheit an Bedeutung. Beispielsweise kann Lehm vielseitig eingesetzt werden. Er hat eine feuchte-regulierende Eigenschaft, die den Einsatz von Lüftungsanlagen zur Feuchtereulation redundant macht. [11]

Vereinfachte Ökobilanzierung (GWP in kg CO ₂ -Äquiv.)		
Berechnung		Randbedingungen
Heizungsanlage (Modul A, C, D)		KfW 55-Effizienzhaus EFH
Luft-Wasser-Wärmepumpe	177 kg	140 m ² NUF
Kältemittel	+ 8.524 kg	154 m ² AWF
Pufferspeicher	+ 476 kg	GWP-Daten aus Ökobaudat 2020
Fußbodenheizung	+ 1.087 kg	Raumwärmebedarf: 22 kWh/m ² a
Summe	10.264 kg	Luft-Wasser-Wärmepumpe: 7kW
		Kältemittel R410a: 2,4 kg
Heizungsanlage (Modul B)		Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
Strom Wärmepumpe	9.920 kg	Lebensdauer Gebäude: 50 Jahre
		Pufferspeicher Edelstahl 135 kg
Zusätzliche Ziegelreihe		Fußbodenheizung PP (200 mm)
Hochlochziegel	7.648 kg	Mauerziegel, Zementmörtel
Zementmörtel	+ 4.065 kg	EPS-Platten WLK 035 16cm
eingesparte Wärmedämmung	- 2.364 kg	
Summe	9.349 kg	

Tab. 2-2: Vereinfachte Ökobilanzierung für das GWP am Beispiel eines EFH nach be 2226

2.3.2 Ökonomische Vorteile

Lowtech-Gebäude können in jeder Lebenszyklusphase wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen. Durch den Verzicht auf technische Komponenten können bereits zum Investitionszeitpunkt Einsparungen erzielt werden, welche auch die Fremdkapitalbelastung reduzieren. Die häufigste Wärmeerzeugungsanlage im deutschen Wohngebäudebau ist die Elektro-Wärmepumpe. [12] Im Durchschnitt kostet eine Wärmepumpe ohne Wärmeverteilernetze und ohne Raumheizfläche bereits zwischen 14.000 € und 32.000 €. [13] Mit einer vereinfachten Gegenüberstellung einer Heizungsanlage für ein repräsentatives EFH zu der Lowtech-Variante nach dem Konstruktionskonzept des be 2226 mit einer zusätzlichen Außenwandziegelreihe, kostet die Referenzausführung doppelt so viel wie die Lowtech-Variante (siehe Tab. 2-1). Mit Einsparung der Stromkosten für den

Betrieb der Wärmepumpe würde die Lowtech-Ausführung sogar nur etwa ein Drittel im Vergleich zur Referenzausführung kosten. Zusätzlich werden im Betrieb auch Instandhaltungskosten und Ersatzinvestitionen durch einen geringeren Technikanteil gespart.

Vereinfachter Kostenvergleich		
Berechnung		Randbedingungen
Heizungsanlage (Investitionskosten)		KfW 55-Effizienzhaus EFH
Luft-Wasser-Wärmepumpe	18.120 €	140 m² NUF
Wärmeverteilnetze	+ 2.360 €	236 m² BGF
Raumheizflächen	+ 9.800 €	BKI 2021 Bauelemente Neubau
Summe	30.280 €	Wärmedämmziegel 36,5 cm
		Wärmedämmung: EPS ohne Putz
Heizungsanlage (Energiekosten)		COP Wärmepumpe: 3,1
Barwert Strom WP Heizwärmebedarf	6.976 €	Heizwärmebedarf: 23 kWh/m²a
		Wärmepumpenstrom: 0,3 €/kWh
Zusätzliche Ziegelreihe		Energiepreissteigerung: 2 %
Wärmedämmziegel	24.640 €	Diskontierungssatz: 0,7 %
eingesparte Wärmedämmung	- 10.318 €	Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
Summe	14.322 €	

Tab. 2-3: Vereinfachter Kostenvergleich am Beispiel eines EFH nach be 2226

2.3.3 Soziale Vorteile

Einfluss des demografischen Wandels

Auch im sozialen Segment der Nachhaltigkeit können Lowtech-Gebäude Vorteile mit sich bringen. Die Minimierung des Technikanteils reduziert den Bedienungsaufwand des Gebäudes. Vor allem im Kontext des demografischen Wandels und des durchschnittlich steigenden Bevölkerungsalters ist dieser Aspekt ein großer Gewinn. Die Gebäude können intuitiver bedient werden ohne komplexe Regeltechnik verstehen zu müssen oder einem Verbot zum Fensteröffnen wie beim Passivhausstandard unterworfen zu

sein. Weiterhin wird der Fachkräftemangel im Bausektor durch den demografischen Wandel verstärkt. Bei der Errichtung, der Instandhaltung und bei der Optimierung der hochtechnisierten energieeffizienten Gebäude bedarf es stets einem hochqualifizierten Fachpersonal mit ausreichend Erfahrung und Weiterbildungen in diesem Themenbereich. Lowtech-Gebäude können durch den Verzicht auf komplexe Anlagentechnik und Bauteilkonstruktionen den Widerspruch zwischen dem Fachkräftemangel und dem Anspruch an diese Expertise umgehen.

Einfluss der Pandemie

Die Pandemie hat einen wesentlichen Einfluss auf unsere Wohn- und Arbeitsbedürfnisse. Ein Effekt hat sich im Kontext der Pandemie verstärkt: die Suburbanisierung. Bereits seit 2014 gab es eine steigende Flucht aus Großstädten in das nahe Umland. [14] Im ländlichen Raum überwiegen EFZH, dessen Fläche in Deutschland 91 % ausmacht und Lebensraum für 57 % ist. [15] [16]

Mehrere Befragungen haben gezeigt, dass sich die Anforderungen an die Wohnsituation geändert hat mit der Tendenz zu mehr Platz im Grünen. Eine Studie besagt, dass die drei wichtigsten Anforderungen an das Umfeld einer Wohnimmobilie folgende sind: 1. eine schöne Wohngegend, 2. gesundes Klima und gute Luft sowie 3. wenig Lärm und Verkehr. [17] Da dies in einer verdichteten Stadt selten möglich ist, kann daraus geschlossen werden, dass sich der Trend zu mehr EFZH entwickelt. [18] Die durch EFZH entstehende Zersiedelung und damit einhergehende erhöhte Flächenversiegelung muss selbstverständlich auch ökologisch kritisch betrachtet werden. Es scheint jedoch unrealistisch ein flächendeckendes Verbot von EFZH umzusetzen, in einer Gesellschaft, die von der Pandemie stark beeinflusst ist. Auch der städtebauliche Charakter im ländlichen Raum ist geprägt von EFZH. Es scheint mehr in den Fokus zu rücken, die Potenziale der entstehenden Neubausiedlungen und Quartiere auszuloten und den ländlichen Raum verantwortungsvoll zu gestalten. Lowtech-Gebäude könnten eine ökologisch erträgliche Lösung für die Suburbanisierung sein beispielweise durch Lowtech-Wohnquartiere im Umland von Großstädten. Aber auch umgedreht bringt der ländliche Raum gute Voraussetzungen für die technische Machbarkeit von Lowtech-Gebäuden mit sich. Denn es gibt weder extreme Hitzeinseln im Sommer noch ausgeprägte Verschattungen von Nachbargebäuden im Winter, was für Lowtech-Gebäude zu großen Herausforderungen bei der Nutzung solarer Warmgewinne und passiver Kühlungsstrategien führen würde. Die Pandemie hat einen weiteren großen Effekt auf die Gesellschaft: die zunehmende Digitalisierung und das sich daraus etablierte Home-Office. Mehrere Studien besagen, dass in Deutschland etwa die Hälfte aller Beschäftigten Möglichkeiten zu Home-Office haben. [19] Durch die Nutzung dieser Möglichkeit würden mehrere positive Effekte entstehen: Einerseits die Verringerung der Fahrten mit Verkehrsmitteln. Es könnten zugewiesene Arbeitsplätze in Bürogebäuden eingespart werden, was eine Reduzierung der Flächen- und Ressourceninanspruchnahme zur Folge hätte. Und das Nutzungsprofil in Wohngebäuden würde sich verändern, was durch vermehrte interne Warmgewinne in der Heizperiode große Vorteile bringt. Bisher betragen in Wohngebäuden die internen Warmgewinne laut DIN V 18599 Teil 10 nur etwa die Hälfte von denen eines ein-

fachen Bürogebäudes. Das ist zwar für den sommerlichen Wärmeschutz ein Vorteil, für die Heizperiode jedoch nicht optimal. Home-Office könnte einen großen Beitrag dazu leisten, was für Lowtech-Gebäude ebenfalls ein Gewinn wäre.

3 Forschungsmethodik

Inwieweit Lowtech-Gebäude nachhaltiger sind als der aktuelle gesetzliche Standard (GEG-Gebäude) muss mithilfe konkreter Berechnungen anhand eines Beispielgebäudes bewiesen werden. Dazu kann in die drei Bereiche Ökonomie, Ökologie und Soziales unterschieden werden. Folgende Methodiken können für diese Bereiche genutzt werden:

Ökologie

Die ökologischen Faktoren werden in verschiedenste Umweltauswirkungen (UW) klassifiziert wie beispielsweise das Treibhauspotenzial (in kg CO₂-Äquiv./ Bezugsgröße) und das Versauerungspotenzial (in kg SO₂-Äquiv./ Bezugsgröße). Dazu können entweder alle auswertbaren Umweltauswirkungen einbezogen werden oder nur die Auswirkungen, die für Gebäude im Zusammenhang mit dem Überschreiten der planetaren Grenzen eine hohe Relevanz vorweisen. Diese können dann gleichwertig parallel betrachtet oder mit einem Wichtungsfaktor ergänzt und zu einem Auswirkungswert summiert werden (z. B. in kg UW/ Bezugsgröße). Insbesondere wenn eine zusammenhängende Betrachtung der Nachhaltigkeitsaspekte angestrebt wird, ist eine Zusammenfassung zu einem Umweltwirkungswert sinnvoll. Die Datenlage gibt konkrete Auswirkungen der einzelnen Bauteilschichten für die jeweiligen Lebenszyklusphasen her. Diese können letztlich für die gesamte Lebenszyklusphase und für das Gesamtgebäude summiert werden. Für die Nutzungsphase muss jedoch ein konkreter Betrachtungszeitraum festgelegt werden.

Ökonomie

Auch für die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes müssen die Kosten zunächst nach den Lebenszyklusphasen des Gebäudes getrennt berechnet werden. Es gibt dafür verschiedenste Kostenermittlungsverfahren. Für den Vergleich von Gebäuden sind die Informationen etwa auf dem Stand der Entwurfsplanung. Dafür ist das elementbezogene Kostenermittlungsverfahren nach Ausführungsarten der Bauelemente, also bis zur 4. Gliederungsebene nach DIN 276, hervorragend geeignet. Neben den bauteilbezogenen Kosten in allen Gebäudephasen kommen noch die gebäudebezogenen Aufwendungen, also Nutzungskosten nach DIN 18960, dazu. Diese werden jedoch ebenfalls von den einzelnen Bauteilen und deren Eigenschaften beeinflusst. Auch hier muss für die Nutzungsphase ein Betrachtungszeitraum angesetzt werden. Um die Kosten untereinander vergleichbar zu machen, ist die Relation der Aufwendungen auf eine gemeinsame Bezugsgröße zielführend.

Ökoeffizienz

Bisher werden Gebäude wirtschaftlich und ökologisch getrennt voneinander betrachtet. Dazu muss jeder Bauherr bei der Entscheidungsfindung selbst festlegen, welches Kriterium ihm wichtiger ist. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Wirtschaftlichkeit und die ökologischen Umweltfaktoren in Relation zu setzen, was als Ökoeffizienz bezeichnet werden kann. Dieses Instrument wird in anderen Branchen bereits stärker in Entscheidungsprozessen eingebunden. Dabei wird der Quotient aus dem wirtschaftlichen Nutzen eines Produktes zu den daraus entstehenden Umweltauswirkungen aufgestellt. Dieser Ansatz wäre bei einem Gebäudevergleich nicht zielführend, da es keinen messbaren wirtschaftlichen Nutzen für alle Gebäudearten gibt. Alternativ besteht jedoch die Möglichkeit die Lebenszykluskosten in Relation zu der aus dem Gebäude entstehenden Umweltauswirkungen zu setzen. Dieser Zusammenhang lässt sich in einer Grafik mit zwei normierten Achsen veranschaulichen (siehe Abb. 3-1: Normierte Ökoeffizienz als Beispieldarstellung-1). Dafür sind beispielhaft fünf verschiedene Gebäudetypen hinsichtlich ihrer ökologischen Umweltauswirkung sowie ihrer Lebenszykluskosten jeweils auf einen Kennwert gebracht dargestellt. Der grüne Bereich stellt dabei eine günstige und der rote Bereich eine ungünstige Ökoeffizienz dar. Weiterhin kann aus dem Abstand zum Nullpunkt ein Ökoeffizienz-Index gebildet werden, der die Alternativen zu einem einzigen Kennwert zusammenführt und abbilden kann. Dieser Abstand ist in der Beispieldarstellung mit X1 und X3 für die jeweiligen Gebäudetypen exemplarisch dargestellt.

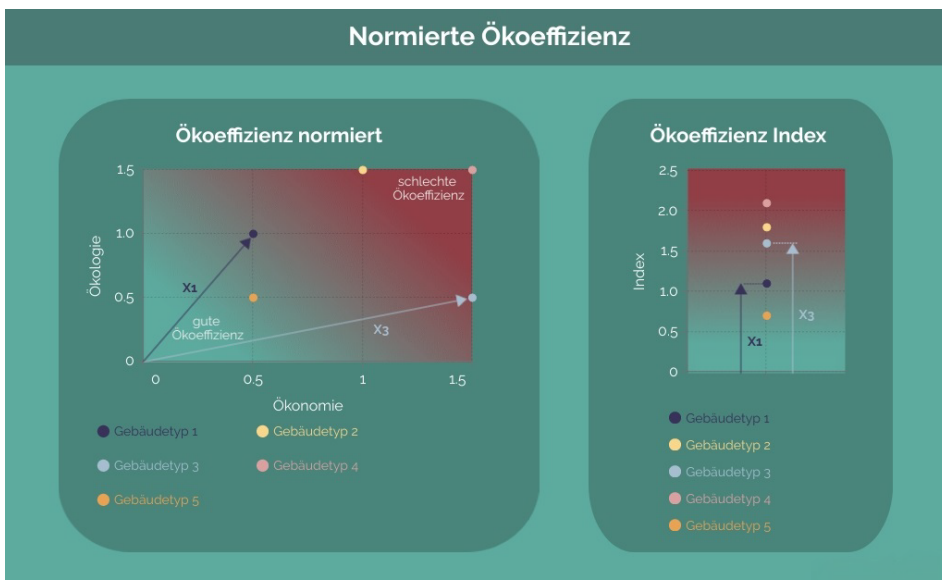


Abb. 3-1: Normierte Ökoeffizienz als Beispieldarstellung

Soziales

Die soziale Nachhaltigkeit ist in manchen Branchen bereits gut etabliert. Dabei werden konkrete Produkte mit konkreten Lieferketten beispielsweise hinsichtlich Kinder- und Zwangsarbeit bewertet. Im Gebäudebereich ist dies nur sinnvoll, wenn konkrete Produkte feststehen. Wenn jedoch in der Entwurfsplanung noch alles produktneutral ist, können solche Aspekte nicht miteinfließen. Im deutschen Gebäudebereich werden soziale Aspekte bereits durch das BNB und das DGNB bewertet. Dabei steht vor allem der Nutzerkomfort im Fokus. Weiterhin sind auch Aspekte wie Gesundheit der Anwender und die Funktionalität des Gebäudes für diesen enthalten. In dem Vergleich von Lowtech-Gebäuden zu Standard-GEG-Gebäuden können diese Aspekte jedoch als Voraussetzung gesehen werden, die beide Gebäudetypen erfüllen müssen. Sie werden deshalb nicht weiter als Vergleichskriterien betrachtet.

Vorgehensweise

Weiterhin gibt es zwei Vorgehensweisen zum Vergleich von Lowtech-Gebäuden zu Standard-GEG-Gebäuden anhand eines Beispiels:

- Wie bereits im Kapitel 2 erwähnt, sind Lowtech-Gebäude nicht genau zu definieren. Dieser Energiestandard kann am ehesten über Leitsätze beschrieben und eingegrenzt werden. Um also eine verallgemeinerbare Aussage zu bekommen, könnten definierte Profile für bestimmte Ausführungsarten im Vorfeld festgelegt werden, die dann mit dem Standard-GEG-Gebäude verglichen werden können. Die Profile könnten folgendermaßen aussehen:
- Je nach technischer Machbarkeit kann ein Gebäude mit reduzierter TGA bis zum radikalen Verzicht dafür aber ein hoher MSR-Grad umgesetzt werden.
- Je nach technischer Machbarkeit kann eine reduzierte TGA bis zum radikalen Verzicht sowie reduzierte MSR bis zum Verzicht realisiert werden.
- Je nach technischer Machbarkeit wäre die Verwendung von reinen Naturmaterialien an jedem Bauteil und ergänzt durch reduzierte TGA möglich.

Die starren Vorgaben von Profilen schränken die Verallgemeinerbarkeit des Vergleichs jedoch stark ein, weshalb eine weitere Verfahrensweise betrachtet werden sollte.

- Eine andere Herangehensweise ist die Optimierung eines GEG-Gebäudes mithilfe von Lowtech-Strategien. Dabei werden für ein GEG-Gebäude die ökonomischen und ökologischen Aspekte einzeln berechnet und mittels Hotspot-Analyse die kritischen Bereiche wie Bauteile und Anlagenkomponenten ermittelt. Daraufhin können diese Bereiche mithilfe von Lowtech-Strategien unter Berücksichtigung des Nutzerkomforts adäquat ersetzt werden. Da es innerhalb der einzelnen Strategien Überschneidungen geben kann und eine Maßnahme eine andere bedingt, sind Kombinationen dieser sinnvoll. Sie können auch zu Maßnahmenpaketen gebündelt werden.

Dazu muss mittels energetischer Simulation sowohl die technische Machbarkeit als auch die gegenseitige Beeinflussung von Maßnahmen überprüft werden. Durch einen Iterationsprozess wird ein Standardgebäude nach GEG zu einem Lowtech-Gebäude. Abschließend kann das Ergebnis der Iterationsschleife mit dem Referenzgebäude verglichen und die ökologischen, ökonomischen sowie ökoeffizienten Eigenschaften bewertet werden.

4 Fazit und Ausblick

Lowtech-Gebäude können unter optimalen Bedingungen eine Alternative zu aktuellen hochtechnisierten Gebäuden sein. Sie haben in allen Bereichen der Nachhaltigkeit viel Potenzial, um zu einem ganzheitlich nachhaltigen und klimaneutralen Gebäudebestand beizutragen. Die Umsetzbarkeit des Lowtech-Konzepts ist jedoch vom Gebäudetyp und der genauen Nutzung abhängig. Deshalb müssen zu jedem Gebäude konkrete thermische Simulationen in der Planung durchgeführt werden. Auch andere Herausforderungen wie die Skepsis gegenüber einem neuen Konzept beispielsweise bei radikalem Verzicht auf eine Wärmeversorgungsanlage könnten einem flächendeckenden Einsatz im Weg stehen. Wann genau ein Gebäude lowtech ist, kann nicht immer klar abgegrenzt werden. Eine Kategorisierung zu im ENGEREN SINN und im WEITEREN SINN erleichtert jedoch die Eingruppierung von Gebäuden zum Lowtech-Konzept. Denn der strikte Verzicht auf Anlagentechnik für Wärme-, Luft- und Kälteversorgung ohne gravierende Einschränkungen beim thermischen Komfort in der Kategorie im ENGEREN SINN lässt keinen großen Spielraum für unscharfe Definitionsgrenzen. Die Kategorie im WEITEREN SINN lässt weiterhin zu, dass die technische Machbarkeit bei einer großen Gruppe an Gebäudetypen gewährleistet ist.

Die Suburbanisierung trägt zu einer verstärkten Zersiedelung und damit größeren Flächeninanspruchnahme bei. Ein flächendeckender Verzicht von Neubau und EFZH wird jedoch im gesellschaftlichen Kontext schwer umsetzbar sein. Besser wäre ein Gebot zu besonders nachhaltigen Gebäudeenergiestandards mit Betrachtung des gesamten Lebenszyklus, wie beispielsweise Lowtech-Gebäude. Verstärkend könnte das Gebot ausgesprochen werden, so wenig wie möglich Flächen zu versiegeln beziehungsweise Raum pro Person anzustreben. Die Einführung einer Pflicht zur Rekultivierung von Flora und Fauna in den Außenflächen des Grundstücks, sowie zu weniger Zersiedelung durch kreative Nutzung von Neubaugebieten und Doppelhäusern wäre zudem empfehlenswert. Als Reglementierung könnte statt dem Jahresprimärenergiebedarf des Gebäudes ($\text{kWh/m}^2\text{a}$) besser die THG-Emissionen pro Person ($\text{kg CO}_2\text{-Äqu. / Person pro Jahr}$) für Wohnraum eingesetzt werden. Es könnten außerdem zu einem Top-Down-Prinzip im Bereich der verfügbaren THG-Emissionen kommen. Das bedeutet, dass den Ländern ein Budget zugewiesen wird für noch verfügbare THG-Emissionen, woraus verfügbare Budgets für die Sektoren und dann für die einzelnen Gebäude oder Personen abgeleitet werden. Damit wäre es möglich, dass Neubauten bzw. EFZH nur noch mit einem suffizienten Ansatz, wie beispielsweise dem Lowtech-Konzept, die zugewiesenen THG-Emissionen im gesamten Lebenszyklus erreichen würden.

Eine abschließende wesentliche Frage ist der Grad der Nachhaltigkeit von Lowtech-Gebäuden. Also in welcher Kategorie und Intensität Lowtech-Gebäude ökonomische und ökologische Vorteile gegenüber aktueller Gebäudestandards bringen. Auch der Zusammenhang zwischen der ökonomischen und ökologischen Effizienz im Sinne einer Ökoeffizienz sollte mehr in den Fokus rücken. In diesem Bereich ist noch großer Forschungsbedarf.

5 Literatur

- [1]Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr, Technische Universität München und Hochschule Coburg, *e% - Energieeffizienter Wohnungsbau. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitung*. München, 2017.
- [2]Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, *Bericht der Baukostenenkommision des Bündnisses für bezahlbares Wohnen und Bauen*. Bonn, 2015.
- [3]Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Hg., *Lowtech im Gebäudebereich*. Berlin, 2019.
- [4]Partner des Interreg Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein Projekts, *Lowtech-Gebäude: Prozess Planung Umsetzung*. Konstanz, 2021.
- [5]Umweltbundesamt, *Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgas-Emissionen für das Jahr 2020*. Dessau-Roßlau, 2021.
- [6]Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, „Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland“, Bonn, 2020.
- [7]Umweltbundesamt, *Treibhausgasemissionen gingen 2019 um 6,3 Prozent zurück*. Dessau-Roßlau, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-gingen-2019-um-63-prozent>
- [8]Deutsche Energie-Agentur, *Keine Energiewende ohne Wärmewende*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dena.de/themen-projekte/energieeffizienz/gebaeude> (Zugriff am: 28. Oktober 2021).
- [9]Deutsche Energie-Agentur, „dena-Gebäudereport 2022: Zahlen, Daten, Fakten“, Berlin, 2021.
- [10]M. Weißenberger, *Lebenszyklusbasierte Analyse der ökologischen Eigenschaften von Niedrigstenergiewohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Gebäudetechnik*. Dissertation, 2016.
- [11]A. Klinge, *Weniger Technik - mehr Gesundheit. Die Natur macht 's! Lowtech im Gebäudebereich*, Zukunft Bauen. Forschung für die Praxis. Band 21. Berlin, *Lowtech im Gebäudebereich*. S. 80–95.
- [12]Statistische Landesämter und bdew Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., *Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau in Deutschland 2021: Anteile der genutzten Energieträger*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/beheizungsstruktur-wohnungsneubau-aktuell/> (Zugriff am: 13. April 2022).
- [13]Baukosteninformationszentrum, *Baukosten: Bauelemente Neubau*. Stuttgart, 2021.
- [14]Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung, *Raus aus der Großstadt: Stadt-Umland-Wanderung nimmt zu*. Wiesbaden, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bib.bund.de/DE/Service-/Presse/2020/2020-05-Raus-aus-der-Grossstadt-Stadt-Umland-Wanderung-nimmt-zu.html>
- [15]Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, „Das Land lebt!: Dritter Bericht der Bundesregierung zur Entwicklung der ländlichen Räume“, Berlin, 2020.

[16]Thünen-Institut für Ländliche Räume, *Landatlas*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.landatlas.de> (Zugriff am: 28. Oktober 2021).

[17]Institut der deutschen Wirtschaft, Institut für Demoskopie Allensbach und Verband der Sparda-Banken e. V., „Sparda Studie - Wohnen in Deutschland 2021“, Frankfurt am Main, 2021.

[18]Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V., *Wie die Deutschen wohnen wollen*. Köln, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iwd.de/artikel/wie-die-deutschen-wohnen-wollen-506735/>

[19]N. Garnadt, M. Schnitzer und S. Viète, „Räumliche Flexibilisierung durch zunehmende Homeoffice-Nutzung“, *Zeitschrift für Wirtschaftspolitik*, 100. Jahrgang, Heft 9, S. 661–666, 2020.

Carbonbeton – Der Weg zum Standard

Romy Wiel ¹, Charlotte Dorn ²

¹ Institut für Baubetriebswesen, Technische Universität Dresden, romy.wiel@tu-dresden.de

² Institut für Baubetriebswesen, Technische Universität Dresden, charlotte.dorn@tu-dresden.de

Kurzfassung

Carbon kann als Ersatz für eine klassische Stahlbewehrung in Betonbauwerken eingesetzt werden. Dabei bieten sich einige Vorteile, welche insbesondere in Bezug auf die ökologische Wirkung der Baubranche relevant sind, denn die Carbonbetonbauweise ermöglicht die Einsparung von verbautem Material und den damit verbundenen Emissionen und kann zudem zur Verlängerung der Lebensdauer von bestehenden Bauwerken beitragen. Der Baustoff wurde in den vergangenen zwei Jahrzehnten intensiv erforscht, die wichtigen Grundlagen der Bemessung und der Zulassung carbonbewehrter Bauteile sind vorhanden. Die steigende Anzahl der umgesetzten Projekte im Neubau und der Instandsetzung verweist auf eine steigende Nachfrage der Carbonbetonbauweise innerhalb der Baubranche. Eine flächige Marktdurchdringung ist jedoch nicht zu verzeichnen, denn noch ist der Einsatz von Carbonbewehrung im Hoch- und Ingenieurbau nicht genormt, sodass die praktische Verwendung mit zulassungsbedingten und finanziellen Hürden verbunden ist. Im folgenden Beitrag wird der aktuelle Stand der Carbonbetonbauweise vorgestellt und die bestehenden Markteintrittsbarrieren erläutert, welche im Rahmen einer Umfrage erhoben wurden. Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass neben den baurechtlichen Randbedingungen die lückenhafte Verfügbarkeit anwenderfreundlichen Informationen zu Themen wie Planung und Bemessung, Bauausführung, Ökologie und Lebenszyklus ein Hindernis darstellen. Das Forschungsprojekt RUBIN ISC zeigt einen Weg zur Standardisierung und zur Steigerung der Marktdurchdringung der Carbonbetonbauweise auf.

Schlagwörter: Carbonbeton, Innovation, Markteintritt, Standardisierung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	334
2	Aktueller Stand Carbonbeton	334
2.1	Einsatzgebiete.....	334
2.2	Materialien/Produkte.....	336
2.3	Zulassungsverfahren	337
2.4	Aktuelle Projekte mit Carbonbeton	339
3	Markteintrittsbarrieren	341
4	Über die Standardisierung zur Marktdurchdringung	344
5	Literaturverzeichnis	345

1 Einleitung

Die Baubranche ist mit jährlich ca. 30 Prozent der ausgestoßenen CO₂-Emissionen und 50 Prozent des gesamten Abfallaufkommens eine der ressourcen- und materialintensivsten Branchen weltweit [1, S. 11]. Insbesondere die Verwendung von Stahlbeton trägt zu diesem Umstand bei. Grund dafür ist u. a. der hohe Zementgehalt des Betons, der maßgeblich für die CO₂-Emissionen des Betons verantwortlich ist. Ein weiterer Grund für die schlechte ökologische Bilanz des Betons ist das Zusammenspiel mit dem korrozierenden Materialverhalten des Stahls, welches zur Folge hat, dass eine große Betondeckung zur Passivierung benötigt wird. Auch das führt zu einem hohen Betonverbrauch beim Bauen mit Stahlbeton.

Eine nachhaltigere Alternative zum klassischen Stahlbetonbau kann das Bauen mit Carbonbewehrung sein. Bereits seit Ende der 1990er-Jahre wird die Carbonbetonbauweise unter dem Forschungstitel Carbon Concrete Composite (C³) an der Technischen Universität Dresden und der RWTH Aachen erforscht. Der Einsatz von Gittern und Stäben aus Carbon als Ersatz zur Stahlbewehrung hat zur Folge, dass deutlich schlanker und dauerhafter gebaut werden kann. Der Wegfall einer erforderlichen Mindestbetondeckung für den Korrosionsschutz wie im Stahlbeton führt zu einem deutlich geringeren Betoneinsatz bei der Herstellung von Carbonbetonbauteilen. Ein geringerer CO₂-Ausstoß ist das Ergebnis. Die erhöhte Dauerhaftigkeit der Bauteile und damit die erhöhte Lebensdauer von Bauwerken tragen ebenfalls zu einer nachhaltigeren Nutzung durch Carbonbeton bei.

Der folgende Beitrag soll einen Überblick des aktuellen Forschungsstandes zum Carbonbeton geben. Neben der Vorstellung der Einsatzgebiete Instandsetzung und Neubau werden aktuelle Projekte beschrieben. Ein weiterer Fokus liegt auf der Fragestellung, warum sich die Carbonbetonbauweise trotz vieler Vorteile bisher noch nicht in großem Umfang durchgesetzt hat. Markteintrittsbarrieren werden analysiert sowie Lösungsansätze aufgezeigt.

2 Aktueller Stand Carbonbeton

2.1 Einsatzgebiete

Die Eigenschaften der Carbonbewehrung in Bezug auf die hohe Zugfestigkeit, Dauerhaftigkeit und Ermüdungsverhalten sind positiv für den breiten Einsatz von Carbonbeton zu bewerten. Insbesondere liegen die Vorteile im Korrosionsverhalten der Bewehrung. Die durch Carbonatisierung hervorgerufene Depassivierung des Betons hat keine Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit der Carbonbewehrung. Eine Mindestbetondeckung im gleichen Maße wie bei Stahlbetonbauteilen ist folglich im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit von Bauteilen nicht notwendig. Die Betondeckung bei carbonbewehr-

ten Bauteilen dient der Gewährleistung eines ausreichenden Verbundes und dem Lastübertrag zwischen Bewehrung und Beton und kann zwischen mehreren Millimetern und wenigen Zentimetern betragen. Dies ermöglicht die Reduzierung der Stärke der Bauteile und damit einhergehend des Materialeinsatzes. Damit sind die Einsatzmöglichkeiten von Carbonbeton vielfältig.

2.1.1 Neubau

Im Neubau ermöglicht der Einsatz von Carbonbeton durch die reduzierte Menge Beton und die hohe Tragfähigkeit der Bewehrung die Konstruktion schlanker Bauteile. Dabei ist die Architektur weniger Zwängen unterlegen, als es bei einer klassischen Stahlbetonbauweise der Fall ist. Der Einsatz im Neubau ist nicht auf den Hochbau beschränkt, auch im Brückenbau findet das Material Anwendung.

Zum aktuellen Zeitpunkt erfolgt die Herstellung von Carbonbetonbauteilen für den Neubau vorrangig in Halb- und Vollfertigteilbauweise, wobei unterschiedliche Herstellverfahren wie das Laminieren, Spritzen oder das Gießen eingesetzt werden. Die Herstellung von Fertigteil-elementen analog zum Stahlbeton im Gießverfahren ist möglich, in der Umsetzung zeigen sich jedoch einige Hindernisse. Carbongitter sind im Vergleich zu Bewehrungsstahl weniger biegesteif und leichter. Diese Eigenschaften können der Sicherstellung einer konstanten Einhaltung der vorgegebenen Betondeckung entgegenstehen, da das Gitter im Beton seine Position verändern kann, z. B. durch Aufschwimmen. Die deutlich geringere Maschenweite des Carbongitters führt zudem in Verbindung mit der geringen Betondeckung und dem damit einhergehenden verringerten Abstand zwischen Schaltisch und Bewehrung dazu, dass die gleichmäßige Verteilung des Betons unter der Bewehrung behindert ist. An der Sichtseite des Bauelements zeichnet sich das Maschenmuster des Carbongitters ab. Grundsätzlich ist das Durchzeichnen des Carbongitters ein Aspekt, welcher beim Einsatz von Carbonbeton zu berücksichtigen ist. Insbesondere bei sehr geringen Betondeckungen von unter einem Zentimeter kann das Maschenmuster des Gitters an der äußeren Betonoberfläche sichtbar sein. Auch bei der Herstellung im Laminierverfahren kann es dazu kommen, dass das Gitter durch die Betondeckung an der Sichtoberfläche durchscheint, sofern eine sehr geringe Betondeckung gewählt wird. Grundsätzlich ist das Laminierverfahren bei Sichtbetonanforderungen jedoch zu bevorzugen, da das Durchscheinen der Bewehrung besser verhindert werden kann. Die vorbeschriebenen Schwierigkeiten des Gießverfahrens bei der Herstellung bestehen beim Laminierverfahren hingegen nicht. Hierbei wird zunächst eine Schicht Beton mit einer Stärke von beispielsweise 2 cm auf den Schaltisch eingebracht und verdichtet. Die Bewehrung wird anschließend eingelegt und an die Betonschicht angedrückt. Im Nachgang erfolgt die Betonage der zweiten Schicht mit einer identischen Stärke.

Neben der Herstellung in (Halb-)Fertigteilbauweise ist auch die Umsetzung *in situ* möglich. Bei vertikalen Bauteilen wie Wandelementen ist ein Einbringen analog zum klassischen Stahlbeton mit den Arbeitsschritten einseitig Schalen, Bewehren, Schalung schließen, Betonieren und Verdichten allerdings nicht ohne Weiteres zu realisieren. Alternativ lassen sich vertikale Bauteile im Spritzverfahren herstellen.

2.1.2 Instandsetzung

Neben der Anwendung im Neubau ist auch der Einsatz bei der Verstärkung von Stahlbetonbauteilen möglich. Die Vorteile, die der Einsatz von Carbonbeton für die Instandsetzung hat, sind ebenfalls auf die Betondeckung rückzuführen. Das Material ermöglicht es, das bestehende Bauteil durch die Aufbringung einer dünnen Feinbetonschicht in Kombination mit dem Carbongitter zu verstärken, wobei die Verstärkungsschicht im Allgemeinen eine Schichtdicke von 10 – 20 mm ausweist [2]. Die geringe Schichtdicke reduziert die zusätzliche Last infolge des Eigengewichts. Zudem ist der Einsatz weniger Ressourcen notwendig, so können im Vergleich zu einer konventionellen Spritzbetonverstärkung bis zu 86 % Beton und 52 % CO₂ eingespart werden [3, S. 769]. Die Einbringung des Carbons als verstärkende Schicht erfolgt mittels Spritz- oder Laminierverfahren, wobei der Einbringung eine entsprechende Untergrundbehandlung vorhergeht. Die Anzahl der Bewehrungslagen richtet sich dabei nach der zu erzielenden Tragfähigkeit.

2.2 Materialien/Produkte

2.2.1 Bewehrung

Die Grundstruktur einer Carbonbewehrung bilden Endlosfasern, auch Einzelfilamente genannt. Die ca. 7 µm starken Einzelfilamente werden mit einer duroplastischen oder thermoplastischen Polymermatrix getränkt und in Fasersträngen gebündelt. Die Faserstränge können zu Carbonstäben oder Carbongittern weiterverarbeitet werden.

Carbonstäbe können durch das Verflechten von mehreren Fasersträngen oder durch das Zusammenfassen einzelner Carbonfilamente hergestellt werden. Sie sind aktuell in verschiedenen Durchmessern von ca. 4 bis 16 mm Außendurchmesser verfügbar. Ähnlich wie ein Stab aus Bewehrungsstahl ist die Oberfläche profiliert, wobei die Profilierung über mehrere verdrehte Litzen, Fräsung oder andere Oberflächenbearbeitungen hergestellt wird und der Verbesserung des Verbundes zwischen Bewehrung und Beton dient. Carbonstäbe können darüber hinaus als Formstäbe beispielsweise als Bügelbewehrung eingesetzt werden, wobei die Herstellung verformter Stäbe nur bei geringen Durchmessern möglich ist.

Carbongitter sind Faserstränge von bis zu 50.000 Einzelfilamenten, welche über Textilmaschinen gitterförmig in zwei- oder dreidimensionale Strukturen gebracht werden. Eine Art Profilierung wie bei Betonstahl oder Carbonstäben erfolgt nicht. Carbongitter sind mit verschiedenen Maschenweiten verfügbar und können rechteckig oder quadratisch variiert werden. [4]

In Abb. 2.1: Carbonbewehrung als Gitter mit verschiedenen Maschenweiten [C³ e. V.] sind einige Carbongitter mit unterschiedlichen Maschenweiten exemplarisch dargestellt.

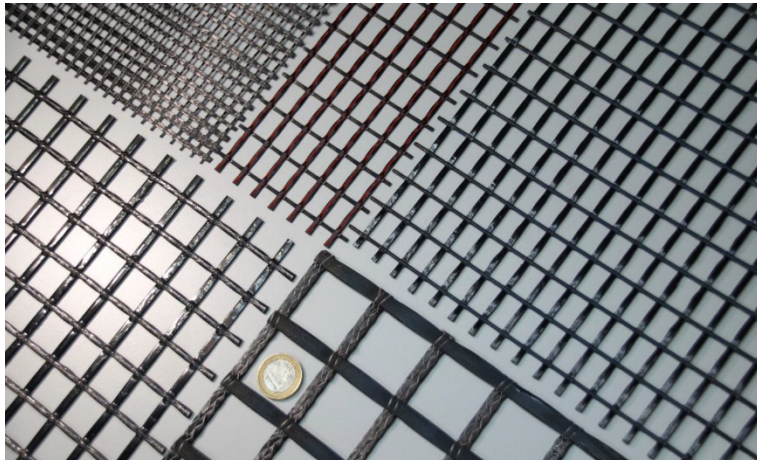


Abb. 2.1: Carbonbewehrung als Gitter mit verschiedenen Maschenweiten [C³ e. V.]

2.2.2 Betonmatrix

Die Auswahl eines geeigneten Betons ist für die Herstellung textillbewehrter Bauteile von großer Wichtigkeit. Aufgrund der geringeren Maschenweite des Carbongitters im Vergleich zu einer Matte aus Bewehrungsstahl ist ein Beton mit einem kleineren Größtkorn einzusetzen. Neben der Maschenweite ist auch die Betondeckung für die Auswahl des Größtkorns entscheidend. In Abhängigkeit des Anwendungsbereichs des gewählten Größtkorns und des für die Erreichung einer hohen Druckfestigkeit notwendigen hohen Bindemittelgehalts kann der Einsatz sogenannter Feinbetone notwendig sein. Der Begriff Feinbeton ist in der DIN EN 206 nicht definiert, im Kontext dieses Artikels wird als Feinbeton ein Beton mit einer maximalen Korngröße $\leq 4 \text{ mm } \varnothing$ verstanden [5, S. 27]. Da nach DIN EN 206 ein Mindestgrößtkorn von $> 4 \text{ mm } \varnothing$ festgelegt ist, können die Anforderungen des Bauvorhabens und des Herstellverfahrens insbesondere bei der Verstärkung zum Einsatz eines nicht genormten Betons führen. Es ist jedoch zu vermerken, dass eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ, vgl. Kapitel 2.3.3) für die Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton im CARBOrefit®-Verfahren unter der Zulassungsnummer Z 31.10-182 existiert, bei welcher der Einsatz eines Feinbetons reguliert ist [6]. Nicht für jedes Bauvorhaben ist der Einsatz von Feinbetonen erforderlich. Insbesondere bei der Herstellung im Gieß- oder Laminierverfahren werden oftmals genormte Beton mit einem Größtkorn von 8 mm verwendet [5].

2.3 Zulassungsverfahren

Das Bauen mit Carbonbeton hat bisher keinen Einzug in nationale Normungen oder Richtlinien genommen. Fehlende Normungen zu Bemessungsregeln für die Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sowie fehlende Zertifizierungen zur Carbonbewehrung erschweren die Umsetzung von Bauprojekten mit Carbonbeton bisher erheblich. Ohne geltende Normen oder Richtlinien ist es für einen nicht geregelten Baustoff notwendig, auf eine abZ (allgemein bauaufsichtliche Zulassung) bzw. aBG

(allgemeine Bauartengenehmigung) zurückzugreifen. Diese Zulassungen werden vom DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) erteilt mit dem Ziel „regelungsbedürftige – z. B. innovative - Bauprodukte und konstruktive Lösungen deutschlandweit in Einklang mit den Bauordnungen“ [7] zu bringen. Die abZ schreibt beispielweise die bauaufsichtlich relevanten Eigenschaften des Bauprodukts, die Anwendungsgebiete, die Weiterverarbeitung, die Lagerung und den Transport vor. Im Gegensatz dazu zielt die aBG darauf ab, das Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen (Bauart) zu regeln. Darin enthalten sind unter anderem Angaben zur Planung und Bemessung sowie zur Bauausführung und dem Betrieb der baulichen Anlage. Häufig werden abZ und aBG als Kombi-Bescheid „abZ/aBG“ erteilt [7]. Allgemein bauaufsichtliche Zulassungen – ebenso wie eine aBG – werden für eine Dauer von 5 Jahren festgelegt und können dann mehrfach um jeweils 5 Jahre verlängert werden. Liegt für ein Bauprodukt oder eine Bauart keine abZ bzw. aBG vor, ist es notwendig, eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) bzw. eine vorhabenbezogene Bauartengenehmigung (vBG) bei der Landesstelle für Bautechnik des jeweiligen Bundeslandes (in Berlin ist das DIBt zuständig) zu beantragen. Eine ZiE regelt den Einsatz eines nicht geregelten Baustoffs, für den es bisher noch keine abZ gibt. Analog zur aBG gilt eine vBG für das Zusammenfügen der Bauprodukte zu einer baulichen Anlage. Zustimmungen im Einzelfall bzw. eine vorhabenbezogene Bauartengenehmigung werden somit für individuelle Bauvorhaben erteilt und sind nicht auf andere Projekte übertragbar. Allerdings können einzelne Nachweise und Prüfergebnisse bei gleichen Anwendungen oftmals übernommen werden.

Für Produkte aus Carbon- und Textilbeton gibt es bisher nur wenige allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen. Wie in Abb. 2.2: Entwicklung der allgemein bauaufsichtlichen Zulassungen seit 2005 pro Jahr [in Anlehnung an Stefan Minar, IMB, TU Dresden]-2 zu sehen, wurden seit 2000 im Zusammenhang mit Carbonbeton insgesamt nur 25 allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) beantragt [8]. Davon sind 11 Zulassungen abgelaufen und nicht mehr gültig. Die restlichen 14 Zulassungen befassen sich hauptsächlich mit Fassaden- oder Wandelementen aus Textil- oder Carbonbeton, Bewehrungsstäben oder Verfahren zur Verstärkung mit Carbonbeton oder zur Rissbreitenreduzierung [9]. Hervorzuheben sind die für den Neubau geltenden Zulassungen für Fassadenplatten [10] und für eine Sandwichwand mit vorgesetzter Textilbetonschale [11]. Für die Verstärkung existiert die 2021 erneuerte und erweiterte Zulassung als Kombi-Bescheid abZ/aBG „CARBOrefit - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton“ [12].

Bei bisher ausgeführten Projekten mit Carbonbeton musste allerdings häufig mit einer Zustimmung im Einzelfall bzw. vBG gearbeitet werden. Die Beantragung einer ZiE/vBG geht immer mit einem höheren Planungs- und Zeitaufwand sowie eines zusätzlichen Kostenaufwandes einher. Die frühzeitige Einbindung von Fachplanern in den Planungs- und Beantragungsprozess kann den Aufwand jedoch reduzieren. Zusätzlich führt eine immer größere Anzahl von Zulassungen im Einzelfall zu Synergieeffekten, da Nachweise und Prüfergebnisse gegebenenfalls übernommen werden können. Zukünftig ist jedoch anzustreben, die baurechtlichen Rahmenbedingungen in Form von Normungen und Richtlinien voran zu treiben, damit zeit- und kostenaufwendige Zulassungen nicht mehr nötig sind.

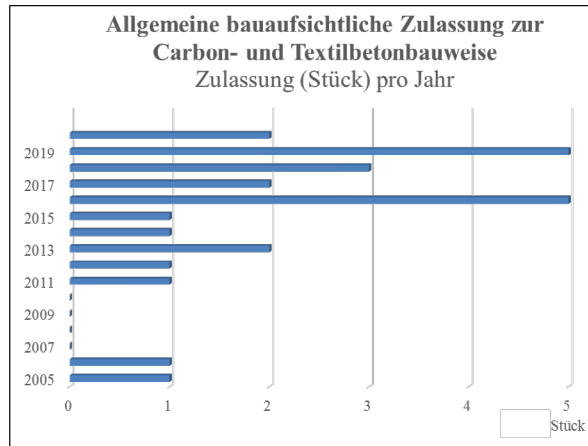


Abb. 2.2: Entwicklung der allgemein bauaufsichtlichen Zulassungen seit 2005 pro Jahr [in Anlehnung an Stefan Minar, IMB, TU Dresden]

2.4 Aktuelle Projekte mit Carbonbeton

Im Jahr 1969 wurde im Magdeburger Stadtpark Rotehorn die durch Ulrich Mütter geplante Mehrzweckhalle *Hyparschale* errichtet. Die Dachkonstruktion des Gebäudes besteht aus vier hyperbolischen Paraboloiden mit einer gesamten quadratischen Grundfläche von je 48 m Seitenlänge (vgl. Abb. 2.3: Ansicht der Hyparschale Magdeburg [Steffen Ritter] 2-3). Seit 1997 aufgrund der Vielzahl aufgetretener Mängel gesperrt. Die Verstärkung der Dachstruktur barg die zusätzliche Herausforderung, dass die Schalen eine Dicke von lediglich 7 cm aufweisen. [13] Eine Verstärkung mit konventionellem Spritzbeton hätte das Eigengewicht des Tragwerks durch die zusätzlich notwendigen Schichten deutlich erhöht. Durch den Einsatz von Carbonbewehrung konnten die ober- und unterseitigen Schichten von ca. 7 cm auf 1 cm je Schicht reduziert werden. [3, S. 788] Im Rahmen der Instandsetzungsmaßnahme wurden die Oberflächen der Schalen durch Hochdruckwasserstrahlen an der Außenseite und Sandstrahlen an der Innenseite abgestrahlt. Die Verstärkung erfolgte Spritzverfahren, wobei das Carbongitter in den Beton laminiert wurde.



Abb. 2.3: Ansicht der Hyparschale Magdeburg [Steffen Ritter]

Obwohl bereits deutlich mehr Erfahrungen und Pilotprojekte in der Instandsetzung realisiert werden konnten, gibt es nun auch die ersten Neubauprojekte, die in der Carbonbetonbauweise umgesetzt werden. Als wegweisendes Neubauprojekt für den Einsatz von Carbonbewehrung im Neubau ist das Projekt *CUBE* zu nennen. Seit 2021 entsteht im Rahmen des C³-Vorhabens auf dem Gelände der Technischen Universität Dresden das weltweit erste Gebäude aus Carbonbeton. Der CUBE fasst die Ergebnisse der jahrelangen Forschung der C³-Projekte zusammen und soll die Potenziale der neuen Bauweise darstellen. Das Gebäude hat eine Bruttogrundfläche von ca. 220 m² mit den Maßen 40 m auf 7,2 m und einer maximalen Höhe von 6,9 m und besteht aus zwei Gebäudeteilen. Die sogenannte BOX ist ein zweigeschossiger Würfel, welcher aus Carbonbeton-Fertigteilen und –Halbfertigteilen (Hohldecken und Doppelwände) hergestellt wurde. Der zweite Gebäudeteil sind die TWIST-Elemente. Es handelt sich hierbei um zwei symmetrische, doppelgekrümmte, gegenüberliegende Schalen, welche als Außenwände über die Gebäudelänge aufeinander zulaufen und sich schließlich zu einer Dachkonstruktion verdrehen. Abb. 2.4: TWIST Element des CUBE im Bauzustand [eigene Fotografie] 2-4 zeigt die TWIST-Elemente. Die Schalen wurden vor Ort im Spritzbetonverfahren hergestellt. Das Gebäude wurde vollständig mit nicht-metallischer Bewehrung realisiert, wobei sich der Einsatz nicht auf carbongebundene Gitter und Stäbe beschränkt, sondern auch Stäbe aus Glasfaser eingesetzt wurden. Das Projekt soll bis zum Herbst 2022 fertiggestellt werden. [3, S. 794]



Abb. 2.4: TWIST Element des CUBE im Bauzustand [eigene Fotografie]

Doch nicht nur im Hochbau gibt es erste Neubauprojekte aus Carbonbeton. Auch im Brückenbau wurden erste Projekte realisiert. Zu diesen zählt auch die Straßenbrücke, welche den Verkehr auf der Staatsstraße 111 bei Wurschen über das Kuppritzer Wasser führt. Die Brücke ist 11 m breit, hat eine Spannweite von 6,6 m bei einer Gesamtlänge von 7,2 m und wurde in Ortbetonbauweise im Jahr 2021 fertiggestellt. Die direkte Nähe zur Bundesautobahn 4 erforderte eine Dimensionierung für den Schwerlastverkehr. Abb. 2.5: Belastungsprobe der Brücke an der S111 [CARBOCON GMBH, P. Riegelmann]g 2-5 zeigt die Schwerlastversuche nach Fertigstellung der Brücke. [3, S. 795]



Abb. 2.5: Belastungsprobe der Brücke an der S111 [CARBOCON GMBH, P. Riegelmann]

Brücken für den Geh- und Radverkehr mit Faserkunststoff-Bewehrung wurden nicht nur in Deutschland, sondern auch weltweit beispielsweise in der Schweiz, Dänemark, Japan oder den Vereinigten Staaten von Amerika umgesetzt. Südlich von Stuttgart wurde 2015 die erste vollständig mit Carbon bewehrte Rad- und Fußgängerbrücke hergestellt. Das Projekt zeigt die Potenziale von Carbonbewehrung deutlich, da die Brücke bei den Maßen 15 m Spannweite und 3 m Breite nur ein Gesamtgewicht von 14 t besitzt. Für eine vergleichbare Konstruktion aus Stahlbeton hätte das doppelte Gewicht. Lediglich 9 cm stark ist die Fahrbahnplatte der Brücke bei einer Auslegung von bis zu 10 t Belastung. [3, S. 796]

3 Markteintrittsbarrieren

Carbonbeton besitzt das Potenzial, in vielen Einsatzgebieten angewendet zu werden. Die mögliche Reduktion von Bauteilquerschnitten durch die nicht korrodierende und flexible Bewehrung ist sowohl unter architektonischen als auch nachhaltigen Aspekten von Vorteil. Bis dato ist eine breite Marktdurchdringung jedoch noch nicht zu erken-

nen. Fehlende Normen zur Bemessung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, eingeschränkte Erfahrungen zur Herstellung und Dauerhaftigkeit von Bauteilen aus Carbonbeton und wenige allgemein gültige Zulassungen verhindern bisher die breite Marktdurchdringung.

In einer im Jahr 2020 durchgeführten Studie am Institut für Baubetriebswesen wurde neben der Identifikation von Markteintrittsbarrieren ein weiterer Fokus auf den vorhandenen Wissensstand zum Thema Carbonbeton gelegt. Die Befragung richtete sich an die Mitglieder des C³-Vereins und somit einer Interessensgruppe für Carbonbeton. Dabei handelte es sich sowohl um Mitglieder, die bereits einen größeren Erfahrungsschatz im Umgang mit Carbonbeton haben als auch um Mitglieder, die noch keine direkte Erfahrung mit Projekten mit Carbonbeton gemacht haben. Die befragten Studienteilnehmer waren den Personengruppen „Forschung und Entwicklung“ und „Baupraxis“ (Planende Ingenieure, Architekten, Baustofflieferanten, ...) zuzuordnen. Ziel der Studie war die Erfassung eines umfangreichen Meinungsbildes zu möglichen Markteintrittsbarrieren und zum aktuellen Wissensstand von Carbonbeton.

Die Studie war als Survey-Online-Studie mit vorherigem Pretest konzipiert worden. Sie wurde als quantitative, anonymisierte und standardisierte Umfrage mit geschlossenen Fragen und einer begrenzten Auswahl an Antwortmöglichkeiten durchgeführt. Von den insgesamt 195 angefragten Personen gab es einen vollständigen Rücklauf von 46 bewertbaren Antwortsätzen, was einer Rücklaufquote von 23,6 % entspricht.

Einen kleinen Auszug aus der Studie stellen die im Folgenden vorgestellten zwei Fragestellungen dar. Abbildung 24-6 zeigt die Verteilung von Hindernissen für die Etablierung der Carbonbetonbauweise, welche anhand von Schlagworten als Antwortmöglichkeit vorgegeben wurden. Die Studie zeigt, dass die fehlenden baurechtlichen Rahmenbedingungen (80 %) und die Planung und Bemessung (70 %) als mit Abstand größte Hindernisse gesehen werden. Die naheliegende Vermutung, dass fehlende Normung, neue Planungs- und Bemessungskonzepte sowie mangelnde Zulassungen zu einer Schranke für die Durchsetzung einer innovativen Bauweise wie Carbonbeton wird, bestätigt sich durch die Befragung aller Studienteilnehmer. Knapp die Hälfte der Studienteilnehmer sieht ebenfalls bei der Bauausführung (43 %) sowie den Herstellkosten (46 %) Hindernisse, die es zu überwinden gilt. Der Abbruch und das Recycling von Bauteilen aus Carbonbeton werden immerhin von 35 % der Studienteilnehmer als Hindernis angesehen. Die Ergebnisse in Abbildung 24-7 beziehen sich auf die Fragestellung nach detaillierteren Informationswünschen zu den gleichen vorgegebenen Themenbereichen wie bei der Fragestellung nach den Hindernissen zur Etablierung. Die prozentuale Verteilung der Antworten unterscheidet sich dabei deutlich. Die Themenbereiche „baurechtlichen Rahmenbedingungen“ mit 63 % und die „Planung und Bemessung“ mit 52 % werden mit weniger hoher Zustimmung zwar auch für weitere Informationswünsche gewählt, der Unterschied zu den anderen Themenbereichen fällt jedoch nicht so eindeutig aus. Die Themenbereiche „ökologische Nachhaltigkeit“ (54 %), „Bauausführung“ (52 %), „Lebenszykluskosten“ (50 %) und „Recycling“ (48 %) finden unter der Fragestellung von mehr Informationsangeboten eine große Zustimmung. Vergleicht man die Fragestellung der Hindernisse und der Informationswünsche, ist auffällig, dass insbesondere

die Themen „ökologische Nachhaltigkeit“, „Lebenszykluskosten“ und „Abbruch und Recycling“ nicht unmittelbar als Hindernis wahrgenommen werden, der Bedarf an mehr Informationen zu den Themen jedoch sehr wohl besteht.

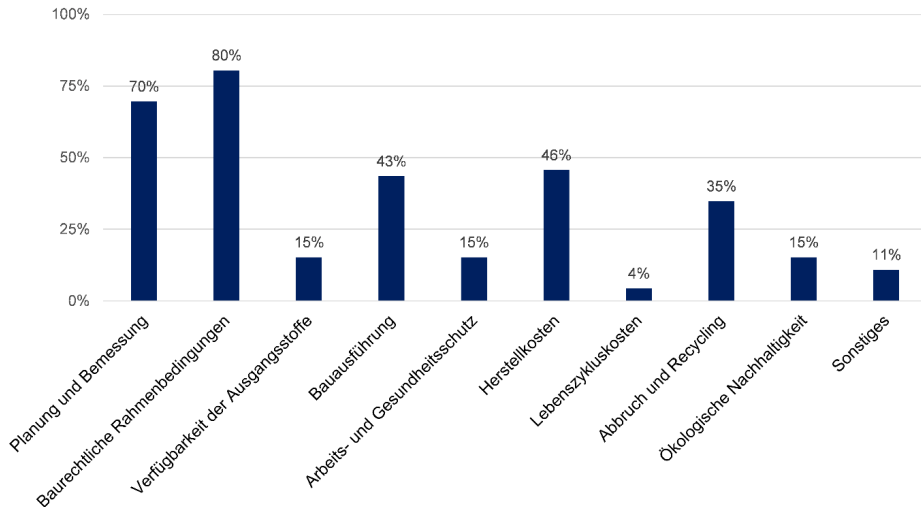


Abb. 3-1: Hindernisse für die Etablierung der Carbonbetonbauweise [14]

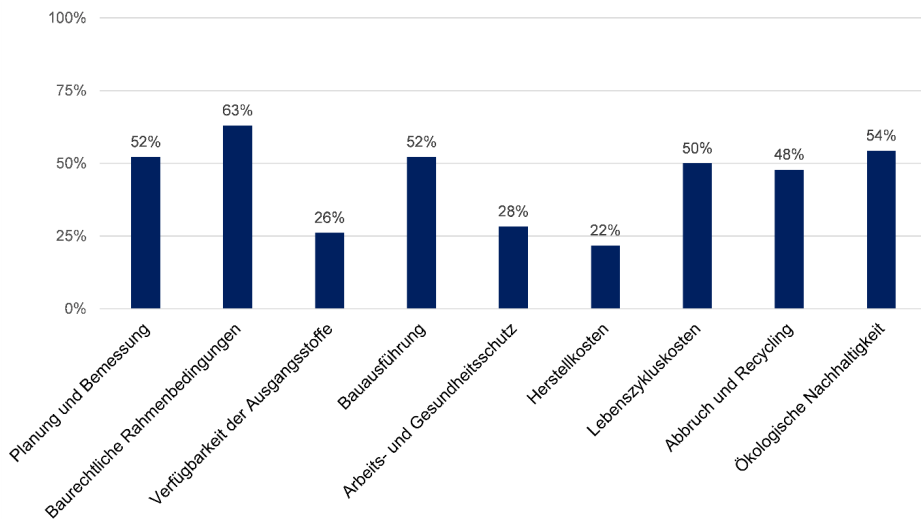


Abb.3-2: Informationswünsche zur Carbonbetonbauweise [14]

Aus den Ergebnissen der Studie lassen sich wichtige Schlussfolgerungen zu den Markteintrittsbarrieren sowie derer Überwindung ziehen. Neben der Reduzierung von eindeutigen Hindernissen wie den baurechtlichen Randbedingungen und der Planung und Bemessung kommt auch der ganzheitlichen Informationsbereitstellung eine tragende Rolle zu.

4 Über die Standardisierung zur Marktdurchdringung

Die in Zulassungsverfahren Kapitel 2.3 beschriebenen Zulassungsverfahren für das Bauen mit Carbonbeton sowie die in Kapitel 3 beschriebenen baurechtlichen und planungstechnischen Markteintrittsbarrieren führen zu der Frage, wie Carbonbeton trotz der Hürden in eine großmaßstäbliche Umsetzung gelangen kann. Neben klaren Hindernissen zur Marktdurchdringung ist auch die Bereitstellung von anwenderfreundlichen Informationen zu Themen wie Bauausführung, Ökologie und Lebenszyklus elementar wichtig. Ein Weg dahin soll das Forschungsprojekt „RUBIN – ISC“ aufzeigen.

Das Forschungsprojekt „RUBIN – ISC – Industriestandard Carbonbeton“ [15] befasst sich mit einer Standardisierung für den Carbonbeton. Ziel des Forschungsprojektes ist die Steigerung von Akzeptanz sowie Wirtschaftlichkeit von Carbonbeton durch das Setzen von noch fehlenden Standards in Planung und Bemessung sowie der Herstellung von Bauteilen. Die Entwicklung eines gemeinsamen Industriestandards sowie von Produkten und Verfahren zu Herstellung soll die Lücke zu bisher fehlenden Normen schließen und beispielsweise Bauherren, Planungsbüros und Bauunternehmen bei der Anwendung von Carbonbeton unterstützen. Dabei spielen neben Standards zur Bemessung und Planung auch Standards zur Arbeitsvorbereitung wie Ausschreibungstexte oder Kostenansätze eine Rolle. Die aus dem Projekt entstehenden Handlungsempfehlungen zum Bauen mit Carbonbeton umfassen dabei nicht nur Planung und Herstellung, sondern auch das Recycling und grundsätzliche Fragen zur Nachhaltigkeit im Sinne des Lebenszyklus.

Die grundsätzliche Idee des Forschungsprojektes Abb. 4-1: Standards Carbonbeton ISC [k&t GmbH] ist dargestellt. Auch bei unterschiedlichen Anwendungsbereichen (z. B. Hochbau, Infrastruktur etc.) gibt es über ähnliche Wertschöpfungsketten gleiche Fragestellungen zu beispielsweise Bemessung, Toleranzen, Einbauteile, Transport und Einbau. Einheitliche Standards zu diesen Themen helfen allen Partnern hinzu einem breiten Einsatz von Carbonbeton.

Unterschiedliche Anwendungsbereiche

Anwendungsbereiche

Ähnliche Wertschöpfungsketten

Planung → Halbzeuge → Produktion → Montage → Recycling

Gleiche Fragestellungen

Bemessung | Toleranzen | Einbauteile | Nachbehandlung | Transport | Einbau etc.

Standardisierte Lösungen

Einheitlicher Standard in den Schlüsselbereichen der Herstellkette

ISC

Abb. 4-1: Standards Carbonbeton ISC [k&t GmbH]

Das Forschungsprojekt „RUBIN – ISC“, mit einer Laufzeit von 01/2022 bis 12/2024 und einer Beteiligung von 13 Partnern aus der Praxis und 2 Partnern aus der Forschung, stellt damit einen wichtigen Baustein zur weiteren Etablierung für Carbonbeton dar. Die Entwicklung einheitlicher Standards hat das Potenzial, beschriebene Markteintrittsbarrieren zu überwinden und eine ganzheitliche Marktdurchdringung zu erreichen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] L. Messari-Becker, *Nachhaltiges Bauen als Routine: Aufgaben für Praxis, Forschung, Lehre und Politik*. In: Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz. Berlin: Ernst & Sohn, 2021.
- [2] CARBOrefit, 2022, <https://carborefit.de/> [Zugriff am 11.04.2022].
- [3] M. Curbach, S. May, E. Müller, A. Schumann, E. Schütze, J. Wagner, *Verstärken mit Carbonbeton*, in: BetonKalendar, Jg. 111, Teil 2. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2022.
- [4] D. Koch, B. Neuberger, *Neue Anwendungsmöglichkeiten für Carbonbeton in der Betoninstandsetzung*. In: Technische Akademie Esslingen, Tagungsband Erhaltung von Bauwerken. Esslingen, 2019.
- [5] R. Cuntze, *Fachbegriffe für Kompositbauteile: Glossar für Bauwesen und Maschinenbau*, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019.
- [6] CARBOrefit, 2022, <https://carborefit.de/zulassung/> [Zugriff am 11.04.2022].
- [7] DIBt, 2022, <https://www.dibt.de/de/wir-bieten/zulassungen-etas-und-mehr/abz-abg> [Zugriff am 13.04.2022].
- [8] C³ - Carbon Concrete Composite e. V., *abZ*. 2021, <https://www.bauen-neu-denken.de/abz/> [Zugriff am 13.04.2022].
- [9] DIBt: Service. 2021, <https://www.dibt.de/de> [Zugriff am 13.04.2022].
- [10] solidian *Fassadenplatte*, Z-71.3-41, 2020.
- [11] solidian *Sandwichwand*, Z-71.3-39, 2019.
- [12] CARBOrefit – *Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton*, Z-31.10-182, 2021.
- [13] P. Riegelmann, A. Schumann, S. May, J. Bochmann, M. P. Garibaldi, M. Curbach, *Mütter's shell structures in Germany – a solution to avoid demolition*. In: Engineering History and Heritage, Vol. 174-3. ICE Publishing, 2021.
- [14] T. Specht, *Identifikation von Markteintrittsbarrieren für Carbonbeton*, Technische Universität Dresden, Diplomarbeit, 2021.
- [15] BMBF: *Innovation & Strukturwandel – ISC*, 2022, https://www.innovation-strukturwandel.de/strukturwandel/de/innovation-strukturwandel/die-initiativen/_documents/artikel/h-r/isc-industriestandard-carbonbeton.html, [Zugriff am 13.04.2022].

Potentiale für Bauprojekte durch die Implementierung von BIM und Risikomanagement

Gertraud Wolf^a

¹Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft, Universität der Bundeswehr München, gertraud.wolf@unibw.de

Kurzfassung

Der Grundsatz der Reformkommission Bau von Großprojekten schreibt vor „Erst digital, dann real bauen“ [1, S. 1]. Dies bedeutet, dass ein digitales Abbild eines Bauwerks erstellt werden soll, bevor es in der Realität gebaut wird. Neben geometrischen Informationen (3D) ist es für die Projektabwicklung wichtig ist, dem Modell Informationen zu Zeit (4D) und Kosten (5D) zuzuordnen. Durch die Betrachtung dieser Bestandteile ergibt sich ein dynamischer Prozess im Modell. Wird die Bauzeit aus unvorhergesehenen Gründen verlängert, steigen die Kosten. Das Bauwerksdatenmodell spiegelt die Prozesse digital wider, als digitaler Zwilling eines Bauwerks. Die dahintersteckende Arbeitsmethode ist Building Information Modeling (BIM, deutsch: Bauwerksdatenmodellierung). Bauzeitenverlängerung und Mehrkosten sind häufige Fehlerquellen in einem Projekt. Durch BIM wird diese Problematik frühzeitig erkennbar und ermöglicht schnelles Handeln. Das Anwenden der Methodik schließt aber dennoch die Fehlerquellen nicht komplett aus. Die Problematik dahinter ist, dass bei Anwendung der BIM-Methode nur Basiswerte hinterlegt werden. Es wird keine Risikobetrachtung in der Terminplanung oder der Kostenkalkulation integriert. Die Werte beschränken sich ausschließlich auf eine Idealisierung. Durch das Anwenden von Risikomanagement kann diese Problematik möglichst gering gehalten werden. Es werden dabei spezifische Szenarien untersucht und in Gefahren und Chancen eingeordnet [2, S. 33]. Der Umfang dieser Betrachtung ist dabei von der Komplexität und dem Projektreifegrad abgängig.

Wird im digitalen Planungsprozess sowohl Risikomanagement als auch BIM erfolgreich angewendet, so kann dies zu einer erfolgreichen Projektabwicklung führen. Durch Risikomanagement bekommt das Projekt Sicherheit und mit BIM gewinnt das Projekt an Produktivität und Qualität [3, S. 3].

Schlagwörter: BIM, Risikomanagement, Termine, Kosten, 4D-Modell, 5D-Modell

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung	358
1.1	Erwartungen bei der Projektabwicklung	358
1.2	BIM und Risikomanagement zur Erfüllung der Erwartungen.....	358
2	Einsatz der BIM-Methode in Bauprojekte	359
2.1	Besonderheiten der BIM-Methode	359
2.2	Potentiale aus der Anwendung der BIM-Methode.....	360
2.3	Herausforderungen in Deutschland bei der Anwendung von BIM	361
3	Risikomanagement als Ansatz in 4D- und 5D-Modellen	362
3.1	Definition Risiko und Risikomanagement.....	362
3.2	Risikomanagement nach DIN ISO 3100.....	363
3.3	Risikomanagement in der 4D- / 5D-Planung.....	365
4	Ausblick BIM und Risikomanagement	366
5	Literaturverzeichnis	367

1 Problemstellung

1.1 Erwartungen bei der Projektabwicklung

„Funktionsgerecht, effizient, qualitativ hochwertig, termin- und kostensicher – so wollen und werden wir im Bundesbau planen bauen.“ [4, S. 4] Der Masterplan BIM [4] für Bundesbauten in Deutschland leitet eloquent in die Absichten des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat und des Bundesministeriums der Verteidigung ein. Es steht 2021 in Deutschland außer Frage, dass BIM das zielführende Werkzeug für eine erfolgreiche Realisierung eines Projektes ist. Durch die Implementierung dieser Arbeitsmethodik können die Prozesse von der Planung, über den Bau, bis hin zum Betrieb optimiert werden. Die Informationen, die bereits während der Planungsphase in das Modell eingepflegt werden, können in der Betriebsphase z.B. für eine intelligente Gebäudeverwaltung genutzt werden. Dieser Punkt ist vor allem für die Nutzer wichtig. Ist der Nutzer auch gleichzeitig der Bauherr, so liegt der Fokus an erster Stelle auch auf ein funktionierendes Termin- und Kostenmanagement. Durch die Bauwerksdatenmodellierung wird die Projektabwicklung transparenter, wodurch die einzelnen Projektbeteiligten besser miteinander agieren können. Probleme werden dadurch schneller bekannt und es kann frühzeitig gehandelt werden. Dies ist ein enormer Fortschritt zur traditionellen Planungsmethode. Durch fehlende Kollaboration kann die Qualität und vor allem auch die Effizienz deutlich absinken. Schnell drohen den Projekten Millionen- oder gar Milliardenkosten und zudem eine Verlängerung der Bauzeit. Das Problem dahinter ist, dass es mit der Zunahme der Komplexität eines Bauvorhabens schwieriger wird den Überblick zu behalten. Der Blick auf das Wesentliche geht verloren. Wenn außerdem noch unvorhergesehene Risiken eintreten, dann droht das Projekt weiter zu scheitern. Risiken können nie komplett vermieden werden, jedoch können sie nach einer Risikobeurteilung und Risikobehandlung reduziert werden.

Kleinere Projekte sind an dieser Stelle ähnlich zu betrachten. Auch wenn die Auswirkung von fehlender Kollaboration und fehlendem Risikomanagement in Zahlen deutlich geringer erscheint, ist es verhältnismäßig für den Bauherrn und für das Projekt eine ebenso große Belastung, die nicht unterschätzt werden sollte.

1.2 BIM und Risikomanagement zur Erfüllung der Erwartungen

BIM dient als Methodik zur Erfüllung der Absichten, wie im Bundesbau geplant und gebaut werden soll. Jedoch ist es für den Erfolg eines Projekts fraglich, sich ausschließlich auf diese Methodik und somit auf die idealisierte Werte zu konzentrieren. Die Realität muss für einen Projekterfolg an dieser Stelle hinzugezogen werden. Sowohl Termine als auch Kosten sind häufige Fehlerquellen in einem Projekt. Nutzt man die Vorteile von BIM und kombiniert man diese mit einer Risikobetrachtung, die sowohl positive als auch negative Aspekte berücksichtigt [2, S. 33], so kann eine ziemlich genaue Termin- und Kostenprognose getroffen werden und die Anzahl an nicht identifizierten Risiken möglichst gering gehalten werden.

2 Einsatz der BIM-Methode in Bauprojekten

2.1 Besonderheiten der BIM-Methode

Unter Building Information Modeling (BIM) versteht man eine Arbeitsmethode, aus der ein digitaler Zwilling eines Gebäudes entsteht. Ein Building Information Model basiert dabei auf einer dreidimensionalen Geometrie und wird durch nicht-physische Objekte, wie z.B. Räume und Bauteilinformationen ergänzt [3, S. 4]. Dabei beschränkt sich das entstehende Modell nicht nur auf die Planung, sondern legt den Fokus auf die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. So zählt auch die Bauausführung, die Gebäudenutzung und der Rückbau dazu. Zur Umsetzung der Methodik werden neben den Bauteilinformationen und den Modellen vor allem auch Strukturen und ein koordinierendes Management benötigt. Der AHO-Arbeitskreis für BIM, ein Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten, die Honorar- und Wettbewerbsinteressen vertreten, greift das Management sogar in dem Akronym BIM auf: B I M M für Building Information Modeling and Management [5, S. 3].

Die Untersuchung in [6, S. 10] zeigt, dass das Modell mit der Zeit an Wissen aus digitalen Bauwerksinformationen gewinnt und dem Informationsverlust bei Anwendung einer herkömmlichen Planungsmethode entgegen wirkt, bei der die Informationen unkoordiniert in den einzelnen Phasen weitergegeben werden. Die daraus entstehenden Brüche in der Informationskette können nur durch Computerunterstützung gelöst werden. So können fehleranfällige Arbeiten, wie Wiedereingaben, vermieden werden, wodurch die Qualität des digitalen Abbilds steigt und die Produktivität im Projekt zunimmt [3, S. 3].

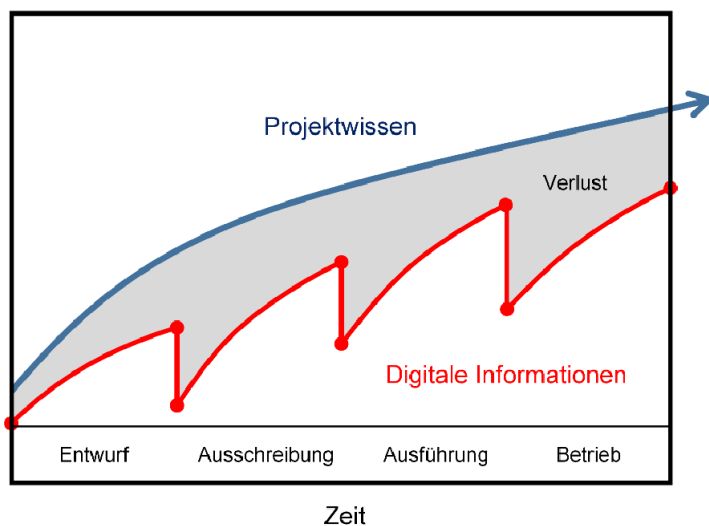


Abb. 2-1: Informationsverlust durch Brüche im Informationsfluss gegenübergestellt zur Steigerung des Projektwissens bei der Anwendung mit BIM [6, S. 10]

2.2 Potentiale aus der Anwendung der BIM-Methode

Einer der wichtigsten Faktoren, die zum Erfolg eines Projektes führen, ist die Kommunikation. Die BIM-Methode ist der Schlüssel dazu, vor allem wenn alle Workflows auf einem Modell basieren. Die Zusammenarbeit zwischen den Planungsbeteiligten kann softwaregestützt in einer gemeinsamen Datenumgebung (= Common Data Environment, CDE) deutlich verbessert werden. Die CDE bietet Transparenz für alle Beteiligten, wodurch z.B. Kollisionen frühzeitig erkannt werden.

Auch das Projektmanagement kann wesentliche Vorteile aus der kollaborativen Arbeitsweise ziehen. So werden Projektfortschritt, Aufgaben oder Gefahren schneller ersichtlich und können den Verantwortlichen modellgestützt zugewiesen werden. Dies steigert die Effektivität enorm und spart Zeit bei der Zuweisung und möglichen Erläuterungen. Weiteres Potential bietet der Austausch mit dem Bauherrn. Oft fehlt diesem die nötige Vorstellungskraft, wodurch Entscheidungen erst später getroffen werden. Mithilfe eines BIM-Modells wird sein Bauvorhaben und die damit zusammenhängenden Prozesse auch für ihn transparenter. Durch Einsatz einer geeigneten Software, die keine CAD Kenntnisse voraussetzt, behält auch er digital den Fortschritt des Projektes im Überblick und kann Entscheidungen schneller treffen.

Die Absicht das Projekt terminsicher und kostentreu zu realisieren, hat meist höchste Priorität bei Bauherrn. Die verbesserte Kollaboration und Transparenz durch BIM bietet dabei eine vielversprechende Voraussetzung. Durch die modellgestützte 4D Bauzeitanalyse und 5D Kostenanalyse lässt sich berechnen und visuell darstellen, welche Auswirkungen Terminänderung und Kostensteigerung in einem Projekt haben können [7]. Wie in Abb. 2-2 dargestellt, bauen die Dimensionen, oder auch „weitere Parameter oder Informationen, die das Modell ergänzen“ [8, S. 40] genannt, eines BIM-Modells aufeinander auf. Die Geometrie bildet die Basis für die Terminplanung und Kostenanalyse. Gibt es Änderungen im Terminplan, so hat dies meist Auswirkung auf den Finanzplan.

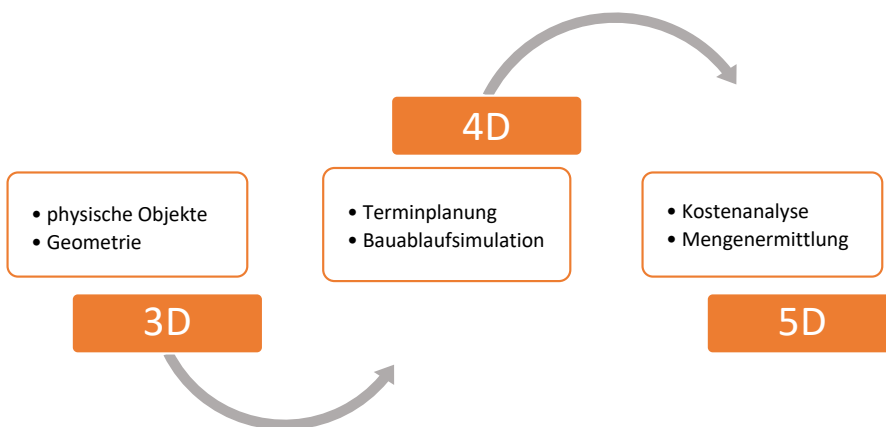


Abb. 2-2: Stufen eines Building Information Models (3D-5D)

Um die Termin- und Kostenanalyse aussagekräftig zu machen, müssen die Bauwerksinformationen organisiert und mit einem möglichst hohen Detaillierungsgrad in das BIM-Modell mitaufgenommen werden. Dabei müssen auch Abhängigkeiten und äußere Faktoren miteinbezogen werden, wie Witterungseinflüsse. Je höher der Detaillierungsgrad dabei ist, desto realitätsnaher sind die Ergebnisse. Wird daraus eine Baustellen-simulation erstellt, vereinfacht diese die Abstimmung zwischen den Projektbeteiligten. Kritische Wege können diskutiert werden und es kann nach einer Optimierungsmaßnahme gesucht werden.

Aus der 4D und 5D Planung können die tatsächlichen Parameter entnommen werden. In der Praxis ist die 4D Planung so aufgebaut, dass im Datenmodell die Reihenfolge der Erstellung von Bauteilen hinterlegt wird. Zeitangaben für Herstellung, Einbau und Fertigstellung sind enthalten. Bei einem 5D Modell können aus den einzelnen Fachmodellen durch Filtern und Zusammenfügen der Daten Kostenmodelle erzeugt werden. Mit dem Fortschreiten des Projektverlaufs wird die Kostenplanung immer genauer. Vor allem eine frühe Projektphase ist häufig durch Änderungen geprägt. Umso wichtiger ist es hier, diese mit möglichst wenig Aufwand und möglichst hoher Effizienz umzusetzen. Eine modellbasierte Kostenplanung kann genau diese Anforderungen erfüllen. Aus der präzisen Kalkulation kann dadurch jederzeit geprüft werden, ob sich diese im Kostenrahmen befindet. Sobald eine Überschreitung erkennbar ist, können durch das Modellieren verschiedener Szenarien frühzeitig Maßnahmen getroffen werden [8, S. 43-44].

2.3 Herausforderungen in Deutschland bei der Anwendung von BIM

„In vielen Ländern ist die Einführung der BIM-Methode bereits weit vorangeschritten. Als Vorreiter sind hier insbesondere Singapur, Finnland, die USA, Großbritannien und Australien zu nennen. Herauszuheben ist, dass in allen genannten Ländern der Staat als größter Auftraggeber eine Schlüsselrolle bei der Einführung von BIM eingenommen hat.“ [3, S. 22]

Deutschland gilt derzeit noch nicht als Land, in welchem die BIM-Methode weit voran geschritten oder gar komplett implementiert wurde. Der deutsche Staat hat diese Arbeitsweise und generell die Digitalisierung erst relativ spät verfolgt. In Singapur ist es beispielsweise schon seit 2004 verpflichtend, Bauunterlagen für öffentliche Bauvorhaben digital einzureichen. In Deutschland wird dies nun schon langsam, nach knapp 20 Jahren, in einigen Gemeinden begonnen zu etablieren [3, S. 22].

Die Potentiale aus der Methodik können, wie zuvor betrachtet, vielversprechend sein. Herausforderungen sind dabei dennoch derzeit nicht zu unterschätzen. Den meisten Projektbeteiligten fehlt derzeit noch die Erfahrung mit BIM. Es ist eine „neue“ Arbeitsweise, die zuerst erlernt werden muss. Dies beschränkt sich nicht nur auf die Umstellung bei der Herangehensweise der Planung, sondern betrifft die ganze Projektsteuerungsmethodik. Es benötigt Pilotprojekte für den weiteren späteren Erfolg. Der Einfluss des Mindsets der Einzelnen ist dabei nicht zu unterschätzen. Für den Erfolg eines Projektes ist eine Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten sowie Offenheit für die Methodik notwendig.

Technische Herausforderungen sind derzeit vor allem beim Datentransfer bekannt. Die Datenschnittstelle Industry Foundation Classes (IFC) gilt als Hauptschnittstelle zwischen den Planungsbeteiligten bei der BIM-Methode. Dabei können aus verschiedensten Gründen falsche Informationen exportiert und importiert werden. Ein möglicher Grund dafür ist, dass beim Export der Informationen falsche Einstellungen getroffen werden.

Eine weitaus bedeutendere Herausforderung, die sogleich Potential ist, ist die Termin- und Kostenplanung. Termine und Kosten sind die wichtigsten Aspekte in einem Bauvorhaben. Der Vorteil eines BIM-Modells liegt darin, dass durch den hohen Grad an Transparenz und Kollaboration die Projekte realitätsnaher abgewickelt werden als mit einer herkömmlichen Planungsmethode. Jedoch ist hierbei kritisch zu sehen, dass nur die Basiswerte betrachtet werden. Das sind der Basisterminplan und die Basiskosten. Nur in den wenigsten Projekten wird eine Risikobetrachtung durchgeführt. Durch das digitale Abbild eines Gebäudemodells können zwar Probleme durch die Dynamik schnell erkannt und behandelt werden, jedoch ist es auch erstrebenswert an deren Ursache zu arbeiten. Durch eine Risikobetrachtung kann die Arbeitsmethodik weiter optimiert werden.

Dass Herausforderungen bei Projekten nicht erkannt werden, ist wohl die größte Herausforderung. Es sollte ein Bewusstsein entstehen, dass Risiken in jedem System zu finden sind. Wird eine Risikobetrachtung zu Beginn eines Projektes durchgeführt, so können mögliche negative Gefahren eingegrenzt oder vermieden werden und positive Chancen erkannt und umgesetzt werden.

3 Risikomanagement als Ansatz in 4D- und 5D-Modellen

3.1 Definition Risiko und Risikomanagement

Als Risiko werden Auswirkungen von Unsicherheiten auf Ziele definiert. Die Auswirkung stellt dabei eine Abweichung, die sowohl negativ, positiv oder auch beides sein kann, vom Erwarteten dar [9, S. 8]. Ist ein Risiko negativ, so ist es nach [10] auch als Gefahr zu bezeichnen. Ein positives Risiko gilt dahingehend als Chance.

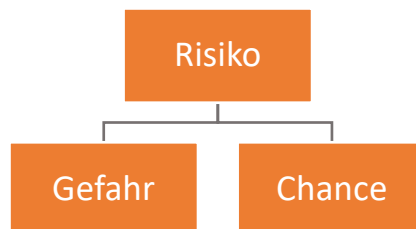


Abb. 3-1: Arten von Risiko [2, S. 33], [10]

Wird ein Risiko betrachtet, so wird dieses anhand der Risikoursache, der potenziellen Ereignisse, ihrer Auswirkungen und ihrer Wahrscheinlichkeit behandelt. Dieser Prozess wird als Risikomanagement bezeichnet. Die Risiken werden prozessunterstützend koordiniert und gesteuert [9, S. 7].

Ein Risikomanagementsystem ist durch die Dynamik einzelner Bestandteile gekennzeichnet. Dazu benötigt es jemanden, der die Führung und Verpflichtung für den Erfolg übernimmt. Das Risikomanagement muss nach einer Systemabgrenzung auf dessen Ziele und Strategie abgestimmt werden.

Nach Abb. 3-2 kann der Prozess bei der Integration gestartet werden. Diese Stelle bildet das grundlegende Verständnis und die Strukturen. In der Gestaltung wird der Fokus darauf gelegt, dass die Beteiligten die Zusammenhänge verstehen. Einzelne Visionen und Ziele werden gesammelt, Beteiligte werden nach ihren Fähigkeiten eingesetzt und eine Kommunikationsstruktur wird festgelegt. Bei der Implementierung kommt der Prozess in Bewegung und wird aktiv in das Projekt integriert. In regelmäßigen Abständen wird die Wirksamkeit bei einer Bewertung überprüft. Dabei werden auf die anfangs festgelegten Ziele zugrunde gelegt und verglichen, ob die angewendeten Methoden weiterhin zielführend sind. Der Prozess des Risikomanagements ist somit ein dynamischer Prozess, der fortlaufend durch äußere und innere Faktoren beeinflusst wird [9, S. 11-16].

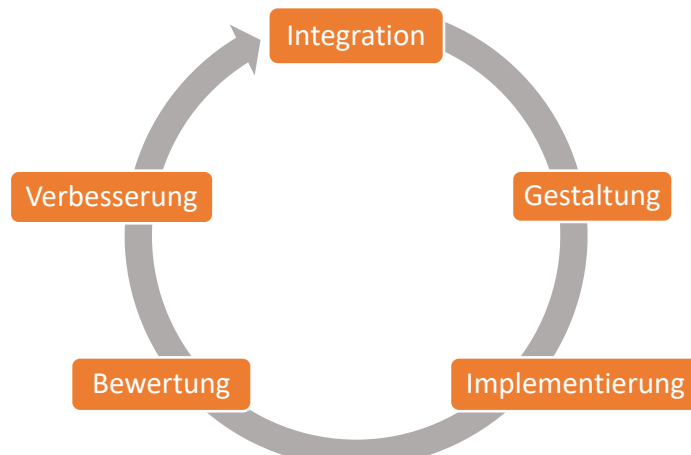


Abb. 3-2: Bestandteile des Risikomanagements [9, S. 11]

3.2 Risikomanagement nach DIN ISO 3100

Der Risikomanagementprozess ist nach [9] in strategische Teilprozesse unterteilt, die durch ständige auftretende Einflussparameter gekennzeichnet sind. Der Gesamtprozess ist ein iterativer Prozess, der zum Erreichen von realistischeren Ergebnissen dient.

In Abb. 3-3 wird der Risikomanagementprozess mit seinen Teilprozessen dargestellt. Ständig einwirkende Teilprozesse, wie Kommunikation und Konsultation, Überwachung und Überprüfung, Aufzeichnen und Berichten, sind die Basis für das Risikomanagement und essenziell für die Ausarbeitung und Bearbeitung der Risiken.

Zu Beginn des Gesamtprozesses wird der Anwendungsbereich definiert. Ziele, erwartete Ergebnisse, Risikokriterien und Risikohöhe, Kombinationen und Abfolge mehrere Risiken und zeitliche Faktoren werden an dieser Stelle im groben Überblick betrachtet, bevor die Risikobeurteilung startet.

Die Risikobeurteilung ist systematisch nach der Risikoidentifikation, der Risikoanalyse und der Risikobewertung gegliedert. Aus den Ergebnissen der Definition des Anwendungsbereiches werden die Szenarien konkreter betrachtet. Als erstes werden die Risiken identifiziert. Dabei liegt der Fokus auf dem Finden, Erkennen und Beschreiben von Risiken, die ein Projekt positiv oder negativ beeinflussen. Mögliche Risiken können Materialmangel, Inflation, menschliche Fehler oder Wettereinflüsse sein. Als nächstes werden die identifizierten Risiken weiter analysiert. Hier wird die Art des Risikos, dessen Eigenschaften und die Risikohöhe beurteilt. In der Risikobewertung werden die Ergebnisse aus der Risikoanalyse mit den zuvor festgelegten Risikokriterien verglichen, um festzustellen, an welcher Stelle eine weitere Betrachtung notwendig ist oder nicht. Abschließend wird die Risikobehandlung durchgeführt. Die Optionen zur Behandlung der festgelegten Risiken werden gewählt und die Prozesse dazu in das Risikomanagement implementiert. Auch die Wirksamkeit wird an dieser Stelle nochmal überprüft, sodass die Auswahl der Maßnahmen zur Risikobehandlung mit einer möglichst hohen Wahrscheinlichkeit zum Erfolg führen [9].

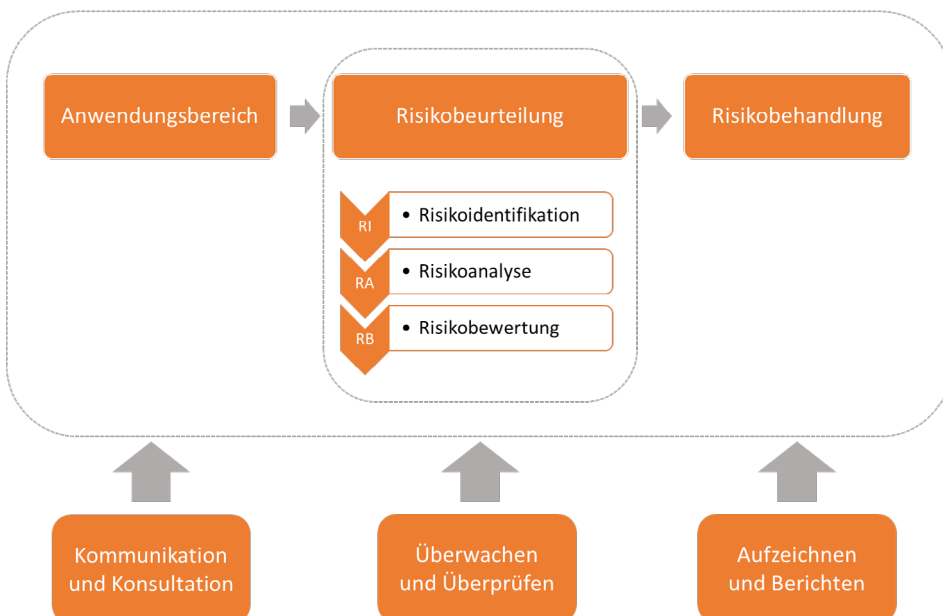


Abb.3-3: Risikomanagement Prozess nach [9, S. 16]

3.3 Risikomanagement in der 4D- / 5D-Planung

Mit der Anwendung von Risikomanagement in der Baubranche können vielzählige Einflussfaktoren frühzeitig erkannt, abgeschätzt und entsprechende Maßnahmen getroffen werden. Dabei steckt vor allem in der Termin- und Kostenplanung das höchste Potential.

In der modellgestützten Planung, wie es auch in der BIM-Methode vorgesehen ist, werden die dynamischen Informationen über Termine, Kosten und Risikomanagement in einem digitalen Bauwerkszwilling dokumentiert. Aus dem integralen Modell können realistischere Werte herausgezogen werden, die für mehr Sicherheit in einem Projekt sorgen. Die Ergebnisse werden unter Anwendung eines probabilistischen Ansatzes geliefert. Hier wird untersucht zu welcher Wahrscheinlichkeit der zu betrachtende Fall eintritt. Durch die Berücksichtigung der Unsicherheiten in Angabe von Bandbreiten, ist die Prognose weitaus zutreffender, als unter einem deterministischen Ansatz, der aus bekannten Parametern immer zu gleichen Ergebnissen führt. Eine Bandbreite ist vom Minimalwert über den erwarteten Wert bis hin zum Maximalwert eingegrenzt.

Für die 4D-Terminplanung mit Risikobetrachtung, wird als Grundlage der Basissterminplan mit Unsicherheiten verwendet. Diesem werden, die aus der Risikobeurteilung identifizierten Risiken und Abhängigkeiten hinzugefügt. Im Modell erscheinen die daraus entstehenden Chancen und Gefahren, woraus als Nächstes entsprechende Maßnahmen getroffen werden sollen. Diese können unmittelbar in das Modell übernommen werden, wodurch die Auswirkungen der Änderungen sofort erkennbar werden.

Ähnliches ergibt sich in der 5D-Kostenplanung mit Risikomanagement. Basierend auf den Basiswerten, den Basiskosten, können die Auswirkungen durch die kostenspezifischen identifizierten Risiken (R) und der Preissteigerung, der Vorausvalorisierung (V), in das digitale Bauwerksmodell übernommen werden. Kritische Wege und mögliche Chancen können hier ebenfalls durch Änderungen im Modell optimiert werden.

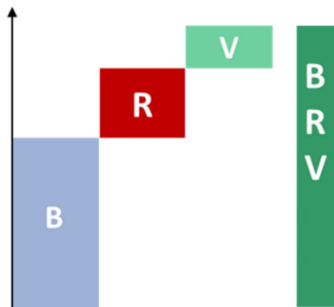


Abb.3-4: Zusammenstellung von Basiskosten, Risiken und Vorausvalorisierung [10]

Speziell in der Termin- und Kostenplanung herrscht eine enge Abhängigkeit. Eine Beschränkung auf einen Bestandteil ist nicht zielführend. Beide Systeme müssen miteinander betrachtet und prognostiziert werden. Erst dann erhält man ein aussagekräftiges

Ergebnis. Gerät z.B. die Bauzeit aufgrund eines Rohstoffmangels in Verzug, so hat dies zum einen wegen dem Verzug negative Auswirkungen auf die Kosten und zum anderen steigen die Rohstoffpreise bei Mangel an. Diese Auswirkungen dienen vor allem in der Darstellung von kritischen Wegen in einem digitalen Zwilling als nachvollziehbare Veranschaulichung.

4 Ausblick BIM und Risikomanagement

Heutzutage scheint es schwierig, nahezu unmöglich zu sein, ein Bauprojekt erfolgreich abzuwickeln. Diese Problematik wird vor allem in letzter Zeit vermehrt kritisch betrachtet. International wird dazu deshalb nach Lösungsansätzen gesucht. Einige Länder arbeiten bereits mit der BIM-Methode und haben bereits positive Erfahrungen sammeln können. In Deutschland geht der Trend der Digitalisierung, der im Ursprung dieser Lösungsansätze steckt, nur langsam voran. Die Bürokratie ist ein maßgebender Strukturgeber, der den Fortschritt an dieser Stelle hindert. Mit dem Stufenplan des Bundes [1] wurden Ziele und die dazu notwendigen Aufwendungen mithilfe eines Digitalisierungsplans für die Baubranche neu durchdacht. Vor allem die Ziele der fristgerechten und kostensicheren Fertigstellung eines Bauwerkes sollen damit erreicht werden.

Für das Definieren der aufzuwendenden Handlungen müssen die Ursachen zuerst identifiziert werden. Vor allem die allgemeingültigen Ursachen, wie fehlende oder schlechte Kommunikation durch mangelnde Kollaboration, ein zu knapper Terminplan und die daraus entstehenden Mehrkosten, sind häufige Fehlerquellen in Projekten.

Um die Qualität und Produktivität der Baubranche zu steigern, benötigt es Maßnahmen, die speziell diese Probleme behandeln. Die bereits anerkannte Methode Building Information Modeling. Mit dieser Arbeitsweise können alle Kriterien erfüllt werden und darüber hinaus auch weitere Schnittstellen eines Projektes positiv beeinflusst werden, wie die Steigerung der Effektivität während der Bauphase und der Integration des Modells in der Betriebsphase. Das in der Planung erstellte Modell kann für den gesamten Gebäudelebenszyklus verwendet werden und steigert somit wesentlich den Nutzungs- und Digitalisierungsgrad.

Die Erwartungen der Stakeholder der Baubranche sind an dieser Stelle noch nicht vollumfänglich erfüllt. Eine selten angewandte Methode in der Baubranche, die jedoch einen hohen Einflussfaktor auf die definierten Ursachen besitzt, ist eine detaillierte Risikobetrachtung. Das Potential daraus wird dabei häufig unterschätzt, wobei bei der Anwendung neben den identifizierten Ursachen auch die Unsicherheiten in Bandbreiten betrachtet werden. Aus der Risikobeurteilung ergeben sich realistischere Werte.

Um den Zielen eines Projekterfolgs gerecht zu werden, benötigt es eine Kombination aus mehreren Methoden. Sich auf eine zu stützen, wird nicht ausreichend sein. Es wird ein digitales Abbild eines Bauwerksmodells benötigt, welches durch weitreichendere Informationen gestützt werden muss. Das Anwenden der BIM-Methode kann an dieser Stelle einen maßgebenden Beitrag dazu leisten, jedoch muss der Bereich der Unsicherheiten in einer detaillierten Risikobetrachtung mit Risikomanagement berücksichtigt

werden. Eine Kombination aus beiden Bestandteilen kann zur erheblichen Verbesserung in der Projektabwicklung vor allem in Termin- und Kostensicherheit führen und gibt die Möglichkeit, Bauprojekte mit mehr Sicherheit und höherer Qualität auszuführen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesverkehrsministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, *Stufenplan Digitales Planen und Bauen*, Berlin, 2015.
- [2] P. Sander, *Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte*, Innsbruck: innsbruck university press, 2012.
- [3] A. Borrmann, M. König, C. Koch und J. Beetz, *Building Information Modeling*, Wiesbaden: Springer-Verlag, 2021.
- [4] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Bundesministerium der Verteidigung, *Masterplan BIM für Bundebauten*, Berlin, 2021.
- [5] AHO-Arbeitskreis „Building Information Modeling (BIM)“, *Leistungen Building Information Modeling - Die BIM-Methode im Planungsprozess der HOAI*, Heft 11, Berlin: Reguvis Bundesanzeiger Verlag, 2019.
- [6] A. Borrmann, W. Lang und F. Petzold, *Studie Digitales Planen und Bauen Schwerpunkt BIM*, vbw-Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V., München, 2018.
- [7] TGA Fachplaner, *Zeiten und Kosten immer im Blick*, TGA Fachplaner, 11-2019.
- [8] A. Hamar, *4D-/5D-BIM*, in *Der BIM Manager*, Berlin, Beuth Verlag, 2019.
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN ISO 31000*, Berlin: Beuth , 2018.
- [10] P. Sander, S. C. Becker und K. Nübel, *Risikomanagement bei Großprojekten im Tunnelbau - Teil 1: Grundlagen und Erfolgsfaktoren*, Tunnel, 02-2021.

Zum Buch:

Der vorliegende Tagungsband zum 31. BBB-Assistent:innentreffen beinhaltet Beiträge aus den Fachbereichen Baubetrieb, Bauwirtschaft, Baumanagement, Building Information Modeling (BIM), Bauverfahrenstechnik Tunnelbau und Tunnel Information Modeling (TIM).



9 783991 050261

Tagungsband - 31. BBB-Assistent:innentreffen

ISBN: 978-3-99105-026-1

DOI: 10.25651/1.2022.0004

Studia Verlag Innsbruck 2022

 universität
innsbruck

Arbeitsbereich für Baumanagement,
Baubetrieb und Tunnelbau