

# **DIE DIGITALISIERUNG ALS EINE MASSNAHME ZUR LÖSUNG DER PROBLEME IN DER BAUWIRTSCHAFT**

**DIGITALIZATION AS A  
SOLUTION FOR  
PROBLEMS IN THE  
CONSTRUCTION  
INDUSTRY**

**ABSTRACT**

Eine Vielzahl von Problemen in der Bauwirtschaft wird durch den Vergleich mit anderen Branchen erkennbar. Zur Bewältigung dieser Probleme wird die Digitalisierung als Maßnahme häufig genannt. Aufbauend auf einer vergleichenden Inhaltsanalyse repräsentativer internationaler Literatur, gibt dieser Beitrag einen Überblick über die Probleme der Bauwirtschaft und motiviert deren Lösung. Als solche wird das Thema Digitalisierung diskutiert, und die damit verbundenen, aus der Literatur extrahierten Herausforderungen und Chancen werden strukturiert und übersichtlich dargestellt. Der vorliegende Artikel gibt Aufschluss über die mit der Digitalisierung verbundenen Barrieren und darüber, warum es sich dennoch lohnt, sie zu überwinden.

A wealth of problems in the construction industry could be identified by comparison with other industries. Digitalization is frequently mentioned as a measure to overcome these problems. Based on a comparative content analysis of representative international publications, this article gives an overview of the problems in the construction industry and motivates their solution. As such, the topic digitalization is discussed. Challenges and opportunities extracted from the literature are given in a structured and concise form. The present article sheds a light on barriers of digitalization and why it is nevertheless worthwhile to overcome them.



Dipl.-Ing. Marco Huymajer studierte Elektrotechnik sowie Mikroelektronik und Photonik an der TU Wien und an der Universidad Politécnica de Madrid. Vor seiner gegenwärtigen Tätigkeit am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement war er in verschiedenen Unternehmen, am Institut für Mikroelektronik und am Institut für Information Systems Engineering an der TU Wien in der Softwareentwicklung tätig. Sein Forschungsinteresse liegt im Einsatz von Data Science in der Bauwirtschaft.



Dipl.-Ing. Leopold Winkler studierte Bauingenieurwesen an der TU Wien sowie an der Politécnica de Madrid. Er arbeitete für die PORR Tunnelbau, bevor er an das Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement wechselte. In seinen Forschungen beschäftigt sich Dipl.-Ing. Winkler mit digitalem Datenmonitoring in der Ausführung und den damit verbundenen Prozessabwicklungen. In Forschungs Kooperationen mit Spezialtiefbauunternehmen und Start-ups betreut er die Evaluierung von Digitalisierungspotentialen und die Implementierung von digitalen Baustellentools.

## 1. EINFÜHRUNG

Das Thema Digitalisierung wird in facheinschlägiger Literatur intensiv diskutiert und von der Mehrheit der Autoren als ein wichtiger Teilaspekt zur Lösung aktuell vorherrschender Probleme in der Bauwirtschaft (BW) gesehen. Der Artikel gibt einen Überblick über Chancen und Herausforderungen hinsichtlich Digitalisierung im Allgemeinen und Digitalisierung der BW im Speziellen. Eingangs erörterte Probleme werden schließlich mit den genannten Chancen in Verbindung gebracht. Methodologisch ist der Arbeit eine umfangreiche Literaturrecherche zugrunde gelegt.

Der Artikel gliedert sich wie folgt: Abschnitt 2 gibt einen repräsentativen Überblick über die von den Autoren vordringlich eingestuften Probleme in der BW, unabhängig von einer speziellen Lösungsstrategie. Abschnitt 3 beleuchtet die Relevanz der BW, um die Vorrangigkeit der Lösung dieser Probleme zu verdeutlichen. Abschnitt 4 thematisiert die Eigenheiten, die die BW beispielsweise von der stationären Industrie unterscheiden. Aus der Menge an möglichen Maßnahmen fokussiert Abschnitt 5 auf die Digitalisierung und geht auf deren Status quo, Herausforderungen und Chancen ein. Abschnitt 6 fasst schließlich die gewonnenen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf.

## 2. PROBLEME DER BAUWIRTSCHAFT

Als übergeordnete Probleme der Bauwirtschaft werden in diesem Beitrag die Produktivität, betriebswirtschaftliche Aspekte, der Umgang mit Innovationen sowie Megatrends diskutiert.

### 2.1 PRODUKTIVITÄT

Ein wesentlicher Anreiz von Automatisierung und Digitalisierung ist der Wunsch nach Steigerung der Produktivität. *Produktivität* ist eine wirtschaftswissenschaftliche Kennzahl, unter der man aus volkswirtschaftlicher Sicht das Verhältnis zwischen globalem Produktionsergebnis und Faktoreinsatz versteht [1]. In bauwirtschaftlicher Hinsicht wird der Begriff der Produktivität auf Bauunternehmen, Sparten, Bauprojekte oder konkrete Tätigkeiten angewandt und als Verhältnis zwischen Output und Input definiert. Produktivität ist eine wesentliche Kennzahl zur Beurteilung der Ergiebigkeit einzelner Prozesse oder des gesamten Wertschöpfungsprozesses in der Bauwirtschaft. Prinzipiell lässt sich zwischen der Faktorproduktivität und Multi-Faktor-Produktivität, auch totale Faktorproduktivität genannt, unterscheiden. Erstere stellt eine Funktion nur eines Produktionsfaktors, wie z. B. Arbeitsaufwand, dar, während zweitere mehrere Produktionsfaktoren, wie z. B. Arbeitsaufwand,

Verbrauchs- und Betriebsmittel, berücksichtigt [2]. Es gibt diesbezüglich divergierende quantitative Bewertungen, die der Bauindustrie im Vergleich mit anderen Industriezweigen sowohl eine hohe [3] als auch eine niedrige [4, 5] Produktivität attestieren. Genauso wie die Produktivität selbst, wird auch deren zeitliche Entwicklung in der Literatur kontrovers diskutiert. In einem Forschungsbericht zeigen Hofstadler et al. [6], dass die Arbeitsproduktivität der österreichischen Bauwirtschaft seit 2002 stark zugenommen hat. Die Autoren vermuten jedoch, dass dies illegalen Aktivitäten wie Schwarzarbeit, Lohn- und/oder Sozialdumping oder vermehrten Subvergaben von Leistungen im In- und ins Ausland geschuldet ist. Gemäß einer Veröffentlichung [7] der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) konnte die Bauwirtschaft in Österreich die Produktivität zwischen 1990 und 2009 durchschnittlich um 0,3 % steigern, im Vergleich zu 2,3 % in der verarbeitenden Industrie. Basierend auf Daten von Eurostat, gibt die Europäische Kommission eine Verringerung der Arbeitsproduktivität zwischen 2008 und 2012 in Österreich von 7,1 % an [8]. Eine Studie von Roland Berger [9] belegt, dass die Bauwirtschaft die Produktivität in den vergangenen zehn Jahren im Gegensatz zu anderen Branchen überhaupt nicht oder nur geringfügig steigern konnte. Daten des Amtes für Arbeitsstatistik bescheinigen der Bauwirtschaft in den USA eine Produktivität, die 2015 sogar kleiner ist als 1987 [10]. Dies deckt sich mit Zahlen des Weltwirtschaftsforums, das eine die letzten 40 Jahre hindurch sinkende Arbeitsproduktivität in den USA anführt [11]. In Übereinstimmung mit diesen Aussagen, konnte mit einem von Vereen et al. [2] entwickelten Modell in den USA eine Verringerung der Produktivität in den Jahren 1990 bis 2008 festgestellt werden. McKinsey & Company [12] nennt eine gemittelte jährliche Steigerung der Produktivität von 1 % in der Bauwirtschaft in den letzten zwanzig Jahren gegenüber einer branchenübergreifenden Steigerung von 2,8 %. Die Ursachen für die teilweise widersprüchlichen Ergebnisse und die Schwierigkeit, zeitliche, regionale oder branchenbezogene Vergleiche durchzuführen, sind mannigfaltig [2, 13]. Eine wesentliche Ursache sind die verschiedenen Definitionen von Produktivität, die Methodologie zu ihrer Quantifizierung und die unterschiedliche Herkunft des zugrundeliegenden Datenmaterials. Untersuchungen zu diesen Themen betrachten einzelne Aktivitäten, Projekte, die Bauwirtschaft als Industriesparte oder eine gesamte Volkswirtschaft. Problematisch für die Vergleichbarkeit ist des Weiteren die verstärkte Nutzung von Fertigteilen, die sich durch eine Erhöhung der Produktivität bemerkbar macht, die jedoch der stationären Industrie zugerechnet werden muss. Letztlich ist die Tatsache, dass derartige Metriken Verbesserungen der Qualität und des Designs unberücksichtigt lassen, kritisch zu betrachten. Zusammenfassend lässt sich jedoch feststellen, dass die Mehrheit der Quellen der Bauwirtschaft, im Vergleich zu anderen Industriezweigen, eine geringe Produktivität oder zumindest eine ungünstige zeitliche Entwicklung unterstellen. McKinsey & Company [12] schätzt das Steigerungspotenzial der Produktivität durch das Umsetzen von sieben genannten Maßnahmen auf 50 % ein. Mit einer Abkehr von einer projektbezogenen Arbeitsweise hin zu einer Massenproduktion, wie sie in verarbeitender Industrie üblich ist, ergäbe sich sogar eine um eine Größenordnung höhere Steigerung.

## 2.2 BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

Betriebswirtschaftlich betrachtet zeigt sich, dass bedingt durch den starken Wettbewerb die Umsatzrentabilität in der Branche kleiner ist als in anderen Industriebranchen [12, 14, 11]. Die KMU Forschung Austria [15] führt eine Umsatzrentabilität von etwa 3 % für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und 2 % für Großbetriebe an. Ein Drittel der Bauunternehmen arbeitet mit Verlust. Deloitte [16] nennt eine EBIT-Marge von Bauleistungen von durchschnittlich 2,7 % für das Jahr 2016.

Die Liquidität als Problem der Branche lässt sich durch einen Bericht der Bank Austria Economics & Market Analysis Austria [17] bestätigen, demzufolge die Insolvenzquote in der Bauwirtschaft weit über dem österreichischen Durchschnitt liegt. Daten des Kreditschutzverbands von 1870 zufolge ist die Insolvenzquote von 2,3 % die höchste in allen Branchen und wird in der absoluten Anzahl der Insolvenzen nur im Handel übertroffen [18]. Dies lässt sich mit einer Eigenkapitalquote von 26,1 % und einer Schuldentilgungsdauer von sieben Jahren in Verbindung bringen, die im Vergleich zu allen anderen Branchen am niedrigsten bzw. am höchsten ist. 21 % der Unternehmen verfügen über eine negative Eigenkapitalquote [15].

Die Kosten- und Terminunsicherheit kann als weiteres betriebswirtschaftliches Problem identifiziert werden. Es gibt zahlreiche Veröffentlichungen, die den schlechten Ruf der Bauwirtschaft in Zusammenhang mit deutlicher Überschreitung geplanter Kosten und Bauzeit, bestätigen [11]. Anhand einer Untersuchung von 258 Bauprojekten konnten Flyvbjerg et al. [19] zeigen, dass es bei 9 von 10 Infrastrukturbauprojekten zu Kostenüberschreitungen kommt und die letzten 70 Jahre keine Verbesserung zu beobachten ist. Durchschnittlich werden die Kosten dabei um 28 % überschritten, wobei die durchschnittliche Überschreitung für den Bau von Schieneninfrastruktur mit 45 % noch ausgeprägter ausfällt. Sovacool et al. [20] stellten eine durchschnittliche Kostenüberschreitung von 66 % für den Bau von Elektrizitätsinfrastruktur fest. Shehu et al. [21] beobachteten bei 55 % der untersuchten malaysischen Bauprojekte eine Kostenüberschreitung. Merrow [22] führt eine Kostenüberschreitung bei 78 % der Megabauprojekte der Öl- und Gasindustrie von durchschnittlich 33 % an.

## 2.3 INNOVATION

Unter Innovation versteht man die nicht-triviale Abänderung oder Verbesserung eines Prozesses, Produktes oder Systems, die für die umsetzende Organisation eine Neuheit darstellt [23]. Innovation birgt ein enormes Potential an unternehmerischen und sozialen Vorteilen. Sie ermöglicht die Verbesserung von Baudienstleistungen und Produkten, die Reduktion der Produktionskosten sowie die Erhöhung der technischen Machbarkeit. Gemäß Daten der Statistik Austria beträgt der Anteil der Bauwirtschaft an der Forschung und Entwicklung (F&E) des österreichischen Unternehmenssektors

40,1 Millionen Euro oder lediglich 0,59 % der gesamten Ausgaben oder einem Vollzeitäquivalent (VZÄ) von ungefähr 393 Angestellten [15]. Bei den Forschungsausgaben entfallen etwa zwei Drittel auf eine experimentelle Entwicklung, ein Drittel auf angewandte Forschung und etwa 1 % auf Grundlagenforschung. Bezogen auf den Umsatz ergeben sich damit Ausgaben für F&E von 0,8 %, im Vergleich zu 3,8 % in der verarbeitenden Industrie; europaweit ergibt sich ein ähnliches Bild [24]. Nesta [25] beziffert den Anteil der Bauwirtschaft an den Gesamtausgaben für F&E in Großbritannien mit weniger als 1 %, im Gegensatz zu 77 % der produzierenden Industrie. Die Europäische Kommission begründet die niedrigen F&E-Ausgaben damit, dass das Hauptaugenmerk der Bauwirtschaft auf der Integration extern verfügbarer Technologien liegt [26]. Das Weltwirtschaftsforum sieht den zeitlichen Versatz zwischen Kosten und Nutzen dafür verantwortlich, dass in projektgetriebenen Wirtschaftszweigen, wie der Bauwirtschaft, den F&E-Ausgaben kein hoher Stellenwert beigemessen wird. Gambatese et al. [27] nennen die Unterstützung des Managements, eine gut funktionierende innerbetriebliche Kommunikation und eine integrale Projektabwicklung als Innovation fördernde Faktoren. Im Gegensatz dazu führen die Autoren die Vermeidung von Risiko und Veränderungen, Ressourcenmangel sowie hohe Auflagen als hinderliche Faktoren an. Abgesehen von der geringen F&E-Tätigkeit wird der Bauindustrie zugeschrieben, neue *Technologie* nur zögerlich einzusetzen [4]. Dies wird von einer Umfrage von KPMG [28] gestützt, der zufolge lediglich 8 % der Führungskräfte in der Bauwirtschaft zu den technologischen Vorreitern zählen.

### 2.4 MEGATRENDS

Eine weitere Herausforderung ist die Reaktion auf globale Megatrends [11]. Die *Gesellschaft* ist in den nächsten Jahrzehnten enormen Veränderungen unterworfen. Bis 2050 ist in Österreich von einem Bevölkerungswachstum von 14 % bei einer gleichzeitigen Abnahme der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter von 67,2 % auf 58,7 % auszugehen [8]. Im Zeitraum von 1985 bis 2014 ist in den USA das Durchschnittsalter von Bauarbeitern von 36 auf 43 Jahre gestiegen [11]. Diese Tatsachen werden sich in einem Mangel an qualifizierten *Fachkräften* widerspiegeln. Das Institut für Höhere Studien stuft die Knappheit des Fachkräfteangebotes in der akademischen Berufsgruppe der Architekten, Diplomingenieure und verwandten Berufe als wahrscheinlich ein [29]. Ein kritischer Faktor ist überdies die steigende Komplexität von Bauprozessen, die den Fachkräften zukünftig ein breiteres Qualifikationsprofil abverlangt. Die alternde Gesellschaft wird sich zudem durch einen wachsenden Bedarf an *altersgerechtem Wohnen* bemerkbar machen. Weltweit wird die Weltbevölkerung bis 2050 sechs Milliarden Menschen überschritten haben, was insbesondere in den Ballungszentren die Nachfrage nach leistbaren Wohnungen treiben wird. Die anwachsende Weltbevölkerung und der wirtschaftliche Aufstieg von Schwellenländern verlangen ein steigendes Maß an *Nachhaltigkeit* hinsichtlich ökologischer Aspekte im gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks.

### **3. MOTIVATION ZUR LÖSUNG DER PROBLEME**

In diesem Abschnitt werden Aspekte genannt, die den genannten Problemen motivierend gegenüberstehen und die Relevanz der BW verdeutlichen. Mit einem Beitrag von 6 % bis 8,2 % zum nominellen Bruttoinlandsprodukt (BIP) ist die Bauwirtschaft für einen bedeutenden Anteil der *Wertschöpfung* in Österreich verantwortlich [8, 15, 30]. Mit einem Anteil von etwa 9 % am BIP ergibt sich europaweit eine ähnliche Situation [31]. Vor allem durch den Wohnbau getrieben, ist in Österreich in den Jahren 2016 bis 2020 mit einer jährlichen durchschnittlichen Steigerung von 1,17 % zu rechnen [8]. Obwohl die Bauinvestitionen unter dem Niveau vor der Finanzkrise 2008 liegen, kann seit 2014 ein stetiges Wachstum in der EU festgestellt werden [16]. Für 2018 prognostiziert die EU-Kommission eine Steigerung der Bauinvestitionen in der EU von 3,1 %. Laut McKinsey & Company [32] wird in den Jahren 2016 bis 2030 weltweit durchschnittlich 3,8 % des BIP oder 3,3 Billionen Dollar jährlich in Infrastruktur investiert werden müssen, um das prognostizierte Wirtschaftswachstum zu gewährleisten. Eine zusätzliche Wertschöpfung von 3,3 Billionen Dollar oder eine Steigerung des BIPs von 2 % ergibt sich im Fall, dass die Bauwirtschaft an Produktivität mit der restlichen Wirtschaft aufschließt [12]. Ein Zusammenhang zwischen BIP pro Kopf und der Bauwirtschaft ist überdies insofern gegeben, als höhere Bauinvestitionen einer Volkswirtschaft tendenziell von einem höheren BIP pro Kopf begleitet werden. Im Vergleich zum Industriedurchschnitt ist die Bauwirtschaft in Österreich durch einen hohen Wertschöpfungsanteil am Branchenumsatz von 35 % sowie einen vergleichsweise niedrigen Importanteil an Vorleistungen von 17 % gekennzeichnet [17]. Dies führt zur einer überdurchschnittlich hohen Multiplikatorwirkung und damit kurzfristig zu starken Wachstumsimpulsen von Bauinvestitionen, was diese zu einem beliebten und effektiven konjunkturpolitischen Instrument macht.

Mit mehr als 7 % der Beschäftigten in Österreich [15, 30] und 6,4 % der Beschäftigten in der EU [33] ist die Bauwirtschaft zudem ein wichtiger Faktor für den *Arbeitsmarkt*. Für Lehrlinge stellt die Bauwirtschaft sogar den größten Arbeitgeber unter den KMUs in Österreich dar [18].

Weltweit ist die Bauwirtschaft der größte Verbraucher von *Rohstoffen* [11]. Korrespondierend damit wird der dem Bau und Abbruch von Gebäuden entstammende Anteil am gesamten *Abfall* mit 20 % bis 30 % beziffert [34], von dem weniger als ein Drittel wiederverwertet wird. Etwa 35 % der Treibhausgase und 30 % des Wasserverbrauchs in der EU lassen sich der Errichtung und der Nutzung von Gebäuden zurechnen [35], wobei der überwiegende Anteil auf die Nutzungsphase entfällt [11, 36].

Die genannten Gegebenheiten verdeutlichen die Wichtigkeit einer Bauwirtschaft in optima forma.



#### 4. EIGENHEITEN DER BAUWIRTSCHAFT

Es wird nun auf branchenspezifische Eigenheiten der BW eingegangen. Einerseits lassen sich diese in kausalen Zusammenhang mit den erörterten Problemen bringen, andererseits müssen diese bei der Erarbeitung von Lösungsstrategien in Betracht gezogen werden:

- Im Gegensatz zur produzierenden Industrie, bei der häufig eine große Anzahl von gleichen oder ähnlichen Produkten erzeugt wird, stellen Bauwerke in der Regel Einzelanfertigungen dar [37].
- Bedingt durch die Größe von Gebäuden, werden diese nicht an einem hochtechnisierten Produktionsstandort produziert, sondern an deren Bestimmungsort errichtet [37].
- Bauprozesse sind stark von äußeren Einflussfaktoren (z. B. Witterung, Planungsänderungen im Bauverlauf, Einflüsse des öffentlichen Interesses etc.) abhängig [37].
- Bauunternehmen sind oftmals stark projektbezogen organisiert [38].
- Häufig kommt es zu vorübergehenden oder kurzfristigen Geschäftsbeziehungen, was in direktem Zusammenhang mit dem vorherigen Punkt steht [38].
- Die arbeitsteilige Vorgehensweise bei Bauprojekten führt dazu, dass oftmals verschiedene Gewerke mit stark unterschiedlichen Prozessen gleichzeitig am gleichen Ort durch unterschiedliche Unternehmen durchgeführt werden [37].
- Im Gegensatz zur produzierenden Industrie hat das bauausführende Unternehmen oftmals nicht die volle Kontrolle und Steuerung über den aus Planung und Herstellung bestehenden Gesamtprozess, sondern ist dabei auf Interaktionen über die Betriebs- und Vertragsgrenzen hinweg angewiesen. Zusätzliche Unternehmen zwischen dem Bauherren und dem letztendlich ausführenden Subunternehmen machen Bauprozesse hoch komplex, erschweren die Logistik und sind, durch den zusätzlichen Verwaltungsaufwand und das zusätzliche Risiko, eine Quelle von Kosten [39]. Die Subvergabe von Bauleistungen ist in letzter Zeit sogar stark gestiegen [6].
- Die Bauwirtschaft ist ein stark fragmentierter Wirtschaftszweig [4, 11, 12]. Mehr als 80 % der Beschäftigten in der Bauwirtschaft in Österreich sind in KMUs tätig [8, 40]. Auf europäischer Ebene sind 95 % der Unternehmen KMUs mit weniger als 20 Mitarbeitern [33]. Bei der Abwicklung von Bauprojekten sind Bauunternehmen deshalb stark auf KMUs angewiesen, die mit der Implementierung neuer Technologien nicht mithalten können [38].
- Die Bauwirtschaft ist in einem hohen Maß reguliert [12]. Die große Menge an lokalen Gesetzen und Gepflogenheiten erschwert die Umsetzung von Standardlösungen.

- Lange Bauzeiten und eine Fülle an Unsicherheiten in der Bauausführung erschweren die Planung.
- Die Bauwirtschaft zeichnet sich durch eine hohe Personalaufwandsquote aus. Laut Statistik Austria [41] liegt der Personalaufwand bei ungefähr 26 % des Umsatzes, im Vergleich zu 19 % im verarbeitenden Gewerbe und im Bergbau.
- Die Bauwirtschaft ist stark von Investitionen der öffentlichen Hand abhängig [12]. 60 % des Produktionswertes im Tiefbau in Österreich stammen aus öffentlichen Aufträgen, im Straßenbau sind es sogar mehr als 70 % [17]. In Deutschland beträgt der Anteil des Umsatzes im öffentlichen Bau am Gesamtumsatz im Bauhauptgewerbe in den Jahren 2000 bis 2015 zwischen ungefähr 33 % bis 28 % [42].
- Die Bauwirtschaft ist stark konjunkturabhängigen und volatilen Märkten unterworfen [11].
- Die starke Konjunkturabhängigkeit und die geringe Umsatzrentabilität von Bauleistungen führen dazu, dass viele Bauunternehmen einen beträchtlichen Teil ihres Umsatzes abseits von Bautätigkeiten erwirtschaften [16].

## 5. DIGITALISIERUNG ALS MASSNAHME

Es stellt sich die Frage, mit welchen grundlegenden Maßnahmen sich die zuvor genannten Probleme unter Berücksichtigung der Eigenheiten bewältigen lassen. Die Mehrheit der Autoren in der behandelten Literatur kommt zum Schluss, dass sich die Herausforderungen nicht auf eine einzige Ursache zurückführen lassen und spricht sich aus diesem Grund für eine Vielzahl von Maßnahmen zu deren Bewältigung aus. Die Deregulierung, eine alternative Vertragsgestaltung, Verbesserungen im Supply-Chain-Management und der verstärkte Einsatz von Fertigteilen sind Empfehlungen, die häufig genannt werden. In diesem Abschnitt wird auf die Digitalisierung als entscheidender Trend in der Bauwirtschaft fokussiert [43]. Der Begriff *Informations- und Kommunikationstechnik* (IKT) wird im Folgenden synonym zum Begriff Digitalisierung verwendet.

Laut dem Verband der Europäischen Bauwirtschaft (Fédération de l'Industrie Européenne de la Construction, FIEC) wird die digitale Transformation der Bauwirtschaft ermöglichen, besser auf die Marktanforderungen zu reagieren und die internationale Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, weshalb Investitionen zur Umsetzung einer digitalen Planung und einer intelligenten Produktion erforderlich sind [33]. Die Europäische Kommission bringt zum Ausdruck, dass nach wie vor großes Gewicht auf die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit von KMUs in der Bauwirtschaft einschließlich deren Nutzung von IKT gelegt wird [26].

## 5.1 STATUS QUO DER DIGITALISIERUNG

Weitgehender Konsens besteht darüber, dass die Bauwirtschaft zu den am wenigsten digitalisierten Wirtschaftszweigen zählt [44, 45]. In einem Branchenvergleich zeigen Friedrich et al. [46], dass die Bauwirtschaft nicht nur den kleinsten Wert des anhand von Daten der Eurostat errechneten *Digitalisierungsindex* erreicht, sondern diesen Wert auch, in Bezug auf eine vorangegangene Untersuchung, nur unterdurchschnittlich steigern konnte. Bei einer Untersuchung über die Produktivität in der Bauwirtschaft stellen Fulford et al. [39] fest, dass es den verwendeten IKT-Systemen an Reife und Integration mangelt, was die Bauwirtschaft noch nicht den vollen Nutzen aus dieser Technologie ziehen lässt. Diese Umstände lassen sich mit den unterdurchschnittlichen Investitionen in IKT argumentieren [3, 39]. Gartner [47] untersuchte die IKT-Ausgaben anhand von Daten von 7.649 Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen in mehr als 80 verschiedenen Ländern. Bezogen auf einen Mitarbeiter beziffern die Autoren die jährlichen Ausgaben für IKT in der Bauwirtschaft mit 4.454 US-Dollar. Von 20 verschiedenen Wirtschaftszweigen fielen die Ausgaben mit 1 % des Umsatzes oder 1,2 % der Gesamtausgaben im Zweig Bauwirtschaft gemeinsam mit dem Zweig Energiewirtschaft am niedrigsten aus und stehen im starken Gegensatz zu einem zweigübergreifenden Durchschnitt von 4 %. Dies deckt sich weitgehend mit den von Underwood et al. [48] für Großbritannien veröffentlichten Zahlen. Bemerkenswert ist, dass die Ausgaben mit 4 % des Umsatzes bei den Planungsunternehmen wesentlich größer sind, als der Durchschnitt von 0,95 % in der gesamten Bauwirtschaft. Fast ein Drittel der Ausgaben entfallen dabei auf Personalkosten, gefolgt von Hardware und Software mit jeweils ungefähr 20 % und der Rest der Ausgaben auf die Bereiche Datennetzwerke, Festnetztelefonie, Mobiltelefonie, IT-Gemeinkosten und Sonstiges. Überdies fiel die relative Steigerung der IKT-Ausgaben geringer aus als jene des Erlöses [47]. Die Tatsache, dass lediglich 16 % der Unternehmen der deutschen Bauwirtschaft angaben, das Budget für IKT zu steigern [43], legt nahe, dass die erörterte Situation in naher Zukunft fortbesteht.

## 5.2 HERAUSFORDERUNGEN DER DIGITALISIERUNG

Für Akteure, die bereits entsprechende digitale Technologien einsetzen, ist der Begriff Herausforderung als die damit verbundene Schwierigkeit zu verstehen. Akteure mit ablehnender Haltung zu digitalen Technologien sehen die Vielzahl an Herausforderungen als wesentlichen Grund, diese Technologien nicht einzusetzen. Aus diesem Grund wird im Folgenden zwischen diesen grundsätzlich verschiedenen Konzepten nicht unterschieden, sondern verallgemeinernd von Herausforderung gesprochen. Als Ergebnis einer Fallstudie nannten Peansupap et al. [49] als Herausforderungen u. a. die hohen Kosten für IKT-Systeme und das geringe Budget dafür, das fehlende Engagement der Projektteilnehmer, Herausforderungen im Zusammenhang mit Standardisierung und Sicherheit, das Fehlen von Erfahrung und Schwierigkeiten beim Erlernen der Technologie. In einer Studie [50] führen Rezgui et al. [38] die kurzzeitigen Geschäftsbeziehungen, die unzureichende Investition in

Schulungen sowie F&E, einen Mangel an Vertrauen in die IKT und vertragliche Handelsbräuche als hauptsächliche Barrieren für IKT-Implementierungen an. Adriaanse et al. [51] formulierten ein theoretisches Modell für die Verwendung organisationübergreifender IKT-Anwendungen. Dies berücksichtigte die intrinsische und extrinsische Motivation, Wissen sowie Handlungsmöglichkeiten und wurde mithilfe von Experteninterviews verifiziert. Dabei konnte eine Reihe von Einflüssen ermittelt werden, die sich hinderlich auf die Verwendung von IKT auswirken. Auf einer intrinsischen Ebene sind es das fehlende Bewusstsein über Vorteile und Kosten, die Gegebenheit, dass Vor- und Nachteile nicht gleichmäßig über die beteiligten Personen verteilt sind und der Umstand, dass eine höhere Transparenz oftmals unerwünscht ist. Hinzu kommen die notwendige Vorfinanzierung und Risiken der Einführung einer IKT-Anwendung sowie der empfundene Zeitdruck, der Anwender daran hindert, sich mit der neuen Technologie zu befassen. Extrinsische Einflüsse werden durch vertragliche Gegebenheiten und eine befürwortende oder ablehnende Unternehmenskultur bestimmt. Im Zusammenhang mit Wissen nennen die Autoren das Vorhandensein klarer Vorgaben und die Fähigkeiten in Bezug auf den Umgang mit der Anwendung als wesentliche Elemente. Als Handlungsmöglichkeiten spielen die Ausrichtung der IKT-Anwendung auf die vorherrschende Arbeitsweise, Interoperabilität und das Vorhandensein entsprechender technischer Infrastruktur eine tragende Rolle. Kivrak et al. [52] nannten die hohen Kosten der IKT-Infrastruktur, das Fehlen einer IKT-Strategie und die Abwesenheit einer für die IKT förderlichen Unternehmenskultur als Barrieren für die Verwendung von IKT bei Bauprojekten.

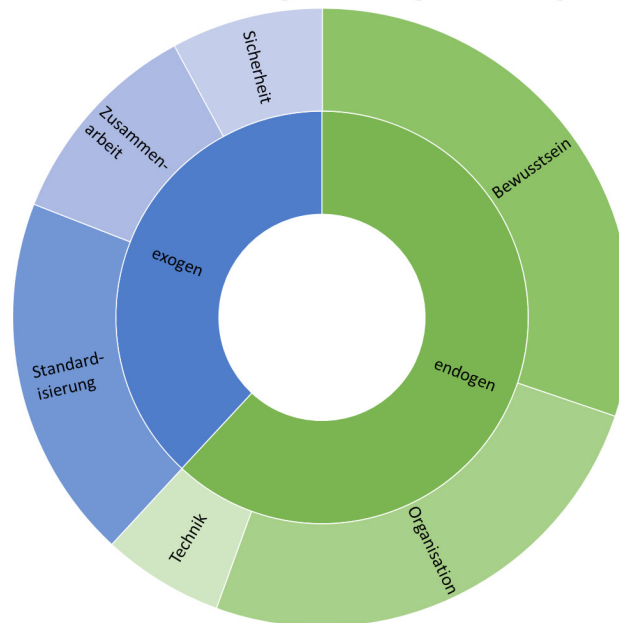
	Gruppe	Kategorie	Paraphrase	Nennungen	Literatur	
Herausforderungen	endogen	Bewusstsein	Fehlendes Wissen und Erfahrung, Mangel an Schulungsmaßnahmen / Wissensmanagement	7	[11, 49, 51, 53, 54, 55, 56]	
			Fehlendes Bewusstsein über Vorteile und Kosten	4	[11, 51, 54, 56]	
			Ablehnung neuer Technologien, fehlende Akzeptanz der Beteiligten	2	[53, 55]	
			Fehlendes Engagement, fehlende Kooperation	2	[49, 56]	
			Angst vor einer Machteinbuße	1	[53]	
			Höhere Transparenz nicht erwünscht	1	[51]	
			Mangel an Vertrauen in die IKT	1	[38]	
			Ungleichmäßige Verteilung von Vor- und Nachteilen	1	[51]	
			Organisation	Kosten und Finanzierung	6	[11, 49, 51, 53, 54, 55]
				Fehlende oder zu geringe Investitionen	3	[38, 49, 53]
	Fehlen von Strategien/Visionen	2		[52, 53]		
	Unklare Vorgaben	2		[51, 53]		
	Unternehmenskultur/-politik	2		51, 52]		
	Technik	Untergeordnete Bedeutung	1	[53]		
		Fehlen/Einschränkungen technischer Infrastruktur	2	[51, 53]		
Umgang mit der Datenkomplexität		1	[55]			
Unzureichende Ausrichtung der IKT-Implementierung		1	[51]			
exogen	Standardisierung	Interoperabilität und Standardisierung	5	[11, 49, 51, 55, 56]		
		Vertragliche Gründe	2	[38, 51]		
		Haftung	2	[11, 55]		
		Abhängigkeit von Softwareanbietern	1	[55]		
		Rechtliche Faktoren	1	[55]		
	Zusammenarbeit	Frage nach der Datenhoheit	1	[11]		
		Kurzzeitige Geschäftsbeziehungen, starke Projektorientierung	2	[38, 56]		
		Netzwerkeffekt	2	[11, 54]		
		Divergierende Interessen der Beteiligten	1	[56]		
		Wettbewerbsnachteil	1	[55]		
Sicherheit	Wird vom Geschäftspartner nicht gewünscht	1	[54]			
	Faktoren im Zusammenhang mit Sicherheit	4	[43, 49, 55, 57]			
		Risiken der Einführung	1	[51]		

Tab. 1. Herausforderungen der Digitalisierung in der Bauwirtschaft

Tab. 1. Challenges of digitalization in the construction industry

Eine Übersicht hinderlicher Faktoren ist in Tab. 1 zusammengestellt. Dabei wurden diese in eine *endogene* und *exogene* Gruppe unterteilt, abhängig davon, ob diese maßgeblich durch das Unternehmen selbst oder durch dessen Umfeld bestimmt werden. Die Paraphrasen wurden aus der angegebenen Literatur gebildet, die Anzahl der Nennungen summiert und den Gruppen zugeordnet. In einem zweiten Schritt konnten innerhalb der jeweiligen Gruppen weitere Kategorien gebildet werden. Für die von den Unternehmen selbst bestimmte Gruppe ergeben sich die Kategorien: *Bewusstsein, Organisation und Technik*. Die Auswertung der Nennungen zeigt, dass die Mehrheit der Veröffentlichungen auf endogene Herausforderungen Bezug nimmt. In dieser Gruppe ist erkennbar, dass die Schwerpunkte auf den Kategorien Organisation und Bewusstsein liegen. Insbesondere auffallend ist die häufige Nennung von fehlendem Wissen und Erfahrung in der Kategorie Bewusstsein. In der Kategorie Organisation werden Kosten und Finanzierung besonders oft genannt. Technische Herausforderungen hingegen liegen vergleichsweise selten vor. Es kann daraus geschlossen werden, dass Unternehmen in Bezug auf Digitalisierung organisatorische und bewusstseinsbildende Maßnahmen für erfolgreiche Implementierung von IKT forcieren müssen. Für die exogenen Herausforderungen ergeben sich die Kategorien *Standardisierung, Zusammenarbeit und Sicherheit*. In Bezug auf die Anzahl der Nennungen ist die Kategorie Standardisierung besonders bedeutend. In Abbildung 2 ist die Analyse der Herausforderungen graphisch dargestellt.

Herausforderungen der Digitalisierung



**Abb. 1.** Herausforderungen der Digitalisierung in der Bauwirtschaft

Fig. 1. Challenges of digitalization in the construction industry

### 5.3 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG

Analog zu den Herausforderungen ist der Begriff Chance verallgemeinernd für Vorteile oder Anreize digitaler Technologie zu verstehen. Auf einer volkswirtschaftlichen Ebene wird eine steigende Digitalisierung von einem steigenden Bruttoinlandsprodukt, einer steigenden Produktivität und einer sinkenden Arbeitslosenquote begleitet [58, 59]. Branchenmäßig betrachtet ergibt sich jedoch in entwickelten Volkswirtschaften in den Branchen mit den höchsten Zuwächsen an Produktivität, wie z. B. bei Finanzdienstleistern und in der verarbeitenden Industrie, eine sinkende Anzahl von Beschäftigten. Ähnlich wie zur Produktivität in der Bauwirtschaft, gibt es unterschiedliche Meinungen über die Wirksamkeit der Digitalisierung als Mittel zur Produktivitätssteigerung. Basierend auf volkswirtschaftlichen Zahlen konnten Leviäkangas et al. [3] nur eine schwache Korrelation zwischen Digitalisierung und Produktivität der australischen Bauwirtschaft beobachten. Dies lässt sich damit begründen, dass Diffusionsprozesse von Schlüsseltechnologien der digitalen Revolution noch nicht abgeschlossen sind [60, 61].

	Kategorie	Paraphrase	Nennungen	Literatur
Chancen	Wirtschaft	Steigerung der Produktivität/Effizienz	9	[4, 12, 39, 43, 52, 53, 55, 56, 62]
		Senkung von Kosten	6	[4, 9, 43, 52, 54, 63]
		Erhöhung der Qualität	5	[4, 52, 56, 62, 63]
		Zeitersparnis	4	[4, 52, 54, 63]
		Erschließen neuer Märkte, Geschäfts- und Vertragsmodelle	3	[11, 53, 55]
		Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit	2	[33, 54]
		Automatisierung von Prozessen	1	[53]
		Senkung des Ressourcenverbrauchs	1	[62]
		Senken des Risikos	1	[43]
		Verbesserungen im Risikomanagement	1	[64]
		Verbesserung bei der Lebenszykluskostenrechnung	1	[55]
		Bessere Reaktion auf Marktveränderungen	1	[33]
		Schaffung neuer Arbeitsplätze	1	[55]
	Organisation	Verbesserung der Zusammenarbeit	5	[4, 11, 43, 55, 63]
		Verbesserung der Kommunikation	5	[51, 52, 53, 55, 63]
		Verbesserter Datenzugriff/-austausch	4	[11, 52, 54, 55]
		Verbesserung in der Planung	3	[43, 55, 63]
		Verbesserung der Koordination	2	[51, 63]
		Verbesserung im Betrieb von Immobilien	2	[43, 55]
		Verbesserung in der Baustellenlogistik	2	[9, 55]
		Verbesserung in der Finanzplanung oder im Finanzcontrolling	2	[4, 52]
		Verbesserung in der Terminplanung	2	[4, 55]
		Verbesserung der Dokumentation	1	[55]
	Soziales	Erhöhung der Transparenz	3	[43, 54, 55]
		Erhöhung der Sicherheit	2	[4, 65]
		Verbesserung der Arbeitsbedingungen, Reduktion Körperlich beanspruchender Tätigkeiten	2	[4, 66]
		Erhöhung der Kundenzufriedenheit	2	[53, 63]
		Unterstützt Innovation	1	[62]
		Verbesserung bei der Vertragsabwicklung	1	[55]
	Technik	Effektivere Streitschlichtung	1	[11]
		Erhöhung der Nachhaltigkeit	1	[4]
		Bewältigung von hoher Komplexität	1	[4]
Verbesserte Datenvisualisierung		1	[55]	
		Erhöhung der Datengenauigkeit	1	[52]

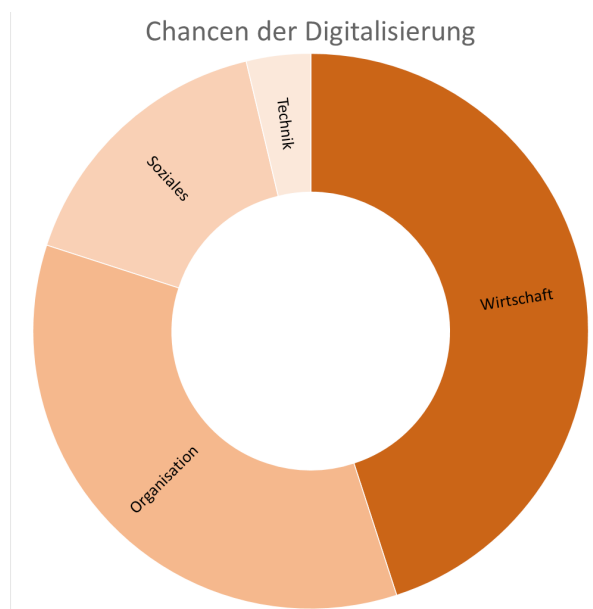
Tab. 2. Chancen der Digitalisierung in der Bauwirtschaft

Tab.2. Opportunities for digitalization in the construction industry

Digitalisierung wird jedoch als treibende Kraft für zukünftige Produktivitätssteigerungen erachtet. Dazu bedarf es komplementärer Innovation und einer verstärkten Anwendung digitaler Technologie im Unternehmensumfeld [61]. McKinsey & Company [12] nennt den Mangel an Investitionen als einen der Gründe der geringen Produktivität der Bauwirtschaft. Unter all den angeführten Mechanismen, messen die Autoren der Digitalisierung und Automatisierung das höchste Produktivitätssteigerungspotential bei. Chou et al. [62] kommen zum Schluss, dass durch Netzwerkeffekte die Möglichkeiten von IKT-Technologie über bloße Produktivitätssteigerung hinausgehen. Gerbert et

al. [4] schätzen die potentielle Kostenersparnis in der Planungs- und Bauphase durch Digitalisierung mit 13 % bis 21 % und in der Betriebsphase mit 10 % bis 17 % ab. Das Massachusetts Institute of Technology und Capgemini Consulting [53] sehen die Verbesserung der Kundenzufriedenheit als den bedeutsamsten Vorteil noch vor betrieblichen Verbesserungen und der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. Durch Experteninterviews identifizierten Kivrak et al. [52] Zeitersparnis, Steigerung der Datengenauigkeit und die Verbesserung der Kommunikation als motivierende Gründe für eine IKT-Implementierung. Dieser Studie zufolge wirkt sich IKT vor allem positiv auf die Zeitplanung, aber auch günstig auf Kosten, Qualität sowie Kommunikation aus und liefert damit einen wesentlichen Beitrag zum Projekt- und Unternehmenserfolg.

Eine Übersicht der Chancen, die eine Verwendung von IKT mit sich bringt, gibt Tab. 2.



**Abb. 2.** Chancen der Digitalisierung in der Bauwirtschaft

Fig. 2. Opportunities for digitalization in the construction industry

Bei der Einteilung wurde mit gleicher Methodik vorgegangen wie bei den Herausforderungen der Digitalisierung im Abschnitt zuvor. Für die Chancen der Digitalisierung konnten keine Gruppen, sondern ausschließlich Kategorien gebildet werden. Sie lassen sich demnach in vier Kategorien einteilen: Wirtschaft, Organisation, Soziales und Technik. Die meisten Nennungen von Vorteilen kommen in der Kategorie Organisation und Wirtschaft zum Tragen. Oft wird die Steigerung der Produktivität oder Effizienz, die Senkung der Kosten und die Erhöhung der Qualität in der Kategorie Wirtschaft angeführt. Vorteile der Organisation lassen sich insbesondere in der Verbesserung der Zusammenarbeit und Kommunikation erkennen. In Abbildung 2 ist die Analyse der Chancen graphisch dargestellt.

## 6. RESÜMEE

In den vorangegangenen Abschnitten wurden eine Auswahl übergeordneter Probleme in der BW erläutert und die Dringlichkeit dargelegt, diese zu lösen. Nach Auffassung der Autoren bedarf es dafür eines Bündels von Maßnahmen. Im weiteren Verlauf des Artikels wurde jedoch auf die Digitalisierung als Lösungsmaßnahme eingeeengt. Die Analyse der Herausforderungen hat gezeigt, dass endogene Herausforderungen überwiegend aus nicht technischen Faktoren bestehen und darüber hinaus exogene Herausforderungen eine große Rolle spielen. Die Mehrzahl der Chancen der Digitalisierung sind wirtschaftlicher oder organisatorischer Natur.

Im Folgenden werden die in Abschnitt 2 erörterten Probleme den Chancen aus Tab. 2 gegenübergestellt. Dabei wurden nur jene Chancen berücksichtigt, die in direktem Zusammenhang mit den Problemen stehen.

**Produktivität:** Wie sich der Zeile „Steigerung der Produktivität/Effizienz“ entnehmen lässt, ist davon auszugehen, dass Digitalisierung ein effektives Instrument zur Steigerung der Produktivität darstellt.

**Betriebswirtschaftliche Aspekte:** Die Chance „Senkung von Kosten“ stellt in Aussicht, der geringen Umsatzrentabilität entgegenzuwirken. „Verbesserung in der Finanzplanung oder im Finanzcontrolling“ kann als Chance gesehen werden, Liquiditätsprobleme zu bewältigen und die Kostensicherheit zu erhöhen. Die Chance „Verbesserung in der Terminplanung“ verspricht, die Terminalsicherheit zu erhöhen.

**Innovation:** Obwohl Digitalisierung per se Innovation darstellt, zeigt die Chance „Unterstützt Innovation“, dass Digitalisierung als Treiber für zusätzliche Innovation gesehen werden kann.

**Megatrends:** Die Chancen „Verbesserung der Arbeitsbedingungen, Reduktion körperlich beanspruchender Tätigkeiten“ und „Bessere Reaktion auf Marktveränderungen“ lässt Potential zur Bewältigung gesellschaftlicher Veränderungen erkennen. Die Chance „Erhöhung der Nachhaltigkeit“ zeigt schließlich, dass sich Digitalisierung positiv auf ökologische Aspekte auswirken könnte.

Die gewonnenen Chancen und Herausforderungen sind in der Literatur nicht ausschließlich im Rahmen der BW behandelt worden. Zudem beschränken sich viele Quellen auf rein qualitative Aussagen. Weitere Forschung ist somit notwendig, um eine quantitative Aussage über den gegenwärtigen Stand in der Bauwirtschaft und Digitalisierung als Maßnahme zur Bewältigung der genannten Probleme zu treffen. Seitens der Forschung sind Forschungsthemen abzuleiten, die konkrete Lösungsansätze und Methoden zur Bewältigung der Probleme bereitstellen. Ein solches Vorhaben wird im Tagungsbeitrag „Interdisziplinäre Forschungsmatrix der Digitalisierung in der Bauwirtschaft“ diskutiert. Themenspezifisch werden grundlegende Konzepte vorgestellt, und die Relevanz für die Bauindustrie wird hergestellt. Die Akteure der BW sind angehalten, die beschriebenen Herausforderungen anzunehmen und entsprechende Schritte zu setzen.



## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Hofstadler, Christian (2014): „Produktivität im Baubetrieb, Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 3642416322, DOI: 10.1007/978-3-642-41633-0.
- [2] Vereen, Stephanie C./ Rasdorf, William/ Hummer, Joseph E. (2016): „Development and Comparative Analysis of Construction Industry Labor Productivity Metrics“, in: Journal of Construction Engineering and Management, Band 142 – Heft 7, S. 04016020, DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001112.
- [3] Leviäkangas, Pekka/ Paik, Seong Mok/ Moon, Sungkon (2017): „Keeping up with the pace of digitization: The case of the Australian construction industry“, in: Technology in Society, Band 50 – Heft Supplement C, S. 33-43, ISSN: 0160-791X, DOI: 10.1016/j.techsoc.2017.04.003.
- [4] Gerbert, Philipp/ Castagnino, Santiago/ Rothballer, Christoph et al. (2016): „Digital in Engineering and Construction, The Transformative Power of Building Information Modeling“, Forschungsber., Boston Consulting Group, URL: <https://www.bcg.com/publications/2016/engineered-products-infrastructure-digital-transformative-power-building-information-modeling.aspx> (besucht am 29.12.2017).
- [5] McKinsey & Company (2016a): „Imagining construction’s digital future“, URL: <http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future>. (besucht am 01.08.2017)
- [6] Hofstadler, Christian/ Loik, Markus/ Peterseil, Markus et al. (2016): „Einfluss von Lohn- und Sozialdumping auf den Wettbewerb in der Bauwirtschaft“, „Projektkurzfassung“, Forschungsber., URL: <https://www.wko.at/branchen/stmk/gewerbe-handwerk/bau/Kurzfassung-der-Studie.pdf> (besucht am 10.10.2017).
- [7] Arnaud, Benoit/ Dupont, Julien/ Koh, Seung-Hee et al. (2011): „Measuring MultiFactor Productivity by Industry: Methodology and First Results from the OECD Productivity Database“, in: The Statistics Newsletter for the extended OECD statistical network (54), URL: <https://www.oecd.org/std/49230023.pdf> (besucht am 03.10.2017).
- [8] European Commission (2016a): „European Construction Sector Observatory, Country profile Austria“, URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/23527/attachments/1/translations/> (besucht am 19.10.2017).
- [9] Schober, Kai-Stefan/ Hoff, Philipp (2016): „Digitalisierung der Bauwirtschaft, Der europäische Weg zu „Construction 4.0““, Roland Berger GmbH.
- [10] U.S. Bureau of Labor Statistics, Office of Productivity and Technology (2017): „1987–2015 Nonmanufacturing Multifactor Productivity, Nonmanufacturing Sectors and NIPA-level Nonmanufacturing Industries KLEMS Multifactor Productivity Tables by Industry“, URL: <https://www.bls.gov/mfp/mprdload.htm> (besucht am 03.10.2017).
- [11] World Economic Forum (2016): „Shaping the Future of Construction, A Breakthrough in Mindset and Technology“, Forschungsber.

- [12] McKinsey & Company (2017): „Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity“, „Executive Summary“.
- [13] Nasir, Hassan/ Ahmed, Hani/ Haas, Carl et al. (2014): „An analysis of construction productivity differences between Canada and the United States“, in: Construction Management and Economics, Band 32 – Heft 6, S. 595–607, DOI: 10.1080/01446193.2013.848995.
- [14] Bornett, Walter/ Bruckner, Bernulf/ Hammerschmied, Hans et al. (2010): „Rating Kennzahlen – 24 Branchen im Vergleich“, Wirtschaftskammer Österreich, WIFI Unternehmerservice.
- [15] KMU Forschung Austria (2016): „Bauforschung 2020, Potenzialanalyse Bauwirtschaft“, „Studie zum branchenspezifischen Forschungsbedarf“, Forschungsber., URL: [http://www.kmuforschung.ac.at/images/stories/Forschungsberichte/2016/Bauforschung\\_2020.pdf](http://www.kmuforschung.ac.at/images/stories/Forschungsberichte/2016/Bauforschung_2020.pdf) (besucht am 20.10.2017).
- [16] Deloitte (2017): „EPoC 2016, European Powers of Construction“, URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/financialservices/EPoC%20-%202016.pdf> (besucht am 19.10.2017).
- [17] Bank Austria Economics & Market Analysis Austria (2015): „Branchenberichte Bauwirtschaft“.
- [18] Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (2016): „Mittelstandsbericht 2016, Bericht über die Situation der kleinen und mittleren Unternehmen der österreichischen Wirtschaft“, „Datenanhang“, URL: <https://www.bmwf.gv.at/Unternehmen/Documents/Datenanhang%20zum%20Mittelstandsbericht%20Version%201910.pdf> (besucht am 20.10.2017).
- [19] Flyvbjerg, Bent/ Holm, Mette K. Skamris/ Buhl, Søren L. (2003): „How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects?“, in: Transport Reviews, Band 23 – Heft 1, S. 71–88, DOI: 10.1080/01441640309904.
- [20] Sovacool, Benjamin K./ Gilbert, Alex/ Nugent, Daniel (2014): „Risk, innovation, electricity infrastructure and construction cost overruns: Testing six hypotheses“, in: Energy, Band 74 – Heft Supplement C, S. 906–917, issn: 0360-5442, DOI: 10.1016/j.energy.2014.07.070.
- [21] Shehu, Zayyana/ Endut, Intan Rohani/ Akintoye, Akintola et al. (2014): „Cost overrun in the Malaysian construction industry projects: A deeper insight“, in: International Journal of Project Management, Band 32 – Heft 8, S. 1471–1480, issn: 0263-7863, DOI: 10.1016/j.ijproman.2014.04.004.
- [22] Merrow, Edward W. (2012): „Oil and Gas Industry Megaprojects: Our Recent Track Record“, in: Oil and Gas Facilities, Band 1 (02), DOI: 10.2118/153695-PA.
- [23] Slaughter, E. Sarah (1998): „Models of Construction Innovation“, in: Journal of Construction Engineering and Management Band 124 – Heft 3, S. 226–231, DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:3(226).
- [24] European Commission (2014): „EU R&D Scoreboard, The 2014 EU Industrial R&D Investment Scoreboard“, DOI: 10.2791/13983, URL: <http://iri.jrc.ec.europa.eu/scoreboard14.html>.
- [25] Nesta (2012): „UK Innovation Index: Measuring the Contribution of Innovation to Economic Growth, and How This Varies across Sectors“, Forschungsber., URL: [http://www.nesta.org.uk/sites/default/files/innovation\\_index\\_2012.pdf](http://www.nesta.org.uk/sites/default/files/innovation_index_2012.pdf). (besucht am 10.08.2017)

- [26] European Commission (2012): „Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises, A global partner“, 433, URL: <http://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0433&from=EN> (besucht am 17.10.2017).
- [27] Gambatese, John A./ Hallowell, Matthew (2011): „Enabling and measuring innovation in the construction industry“, in: Construction Management and Economics, Band 29 – Heft 6, S. 553–567, DOI: 10.1080/01446193.2011.570357.
- [28] Armstrong, Geno/ Gilge, Clay (2016): „Building a technology advantage, Harnessing the potential of technology to improve the performance of major projects“, „Global Construction Survey 2016“, Forschungsber., KPMG, URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2016/09/global-constructionsurvey-2016.pdf> (besucht am 17.10.2017).
- [29] Fink, Marcel/ Titelbach, Gerlinde/ Vogtenhuber, Stefan et al. (2015): „Gibt es in Österreich einen Fachkräftemangel?, Analyse anhand von ökonomischen Knappheitsindikatoren“, Forschungsber., Wien: Institut für Höhere Studien.
- [30] Wirtschaftskammer Österreich, Stabsabteilung Statistik (2017): „Statistisches Jahrbuch“.
- [31] European Commission (2016b): „The European construction sector, A global partner“, URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/15866/attachments/1/translations/en/renditions/native> (besucht am 17.10.2017).
- [32] McKinsey & Company (2016b): „Bridging Global Infrastructure Gaps“, „Executive Summary“, URL: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Bridging%20global%20infrastructure%20gaps/Bridging-Global-InfrastructureGaps-In-Brief.ashx> (besucht am 19.10.2017).
- [33] European Construction Industry Federation (FIEC) (2016): „Annual Report 2016“, URL: <http://www.fiec.eu/en/cust/documentrequest.aspx?DocID=46093>. (besucht am 18.12.2017)
- [34] Bossink, B. A. G./ Brouwers, H. J. H. (1996): „Construction Waste: Quantification and Source Evaluation“, in: Journal of construction engineering and management, Band 122 – Heft 1, S. 55–60.
- [35] European Commission (2011): „Roadmap to a Resource Efficient Europe“, 571, URL: <http://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0571&from=EN> (besucht am 04.10.2017).
- [36] Sartori, I./ Hestnes, A.G. (2007): „Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article“, in: Energy and Buildings, Band 39 – Heft 3, S. 249–257, ISSN: 0378-7788, DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.07.001.
- [37] Weidner, Jörg/ Hasenclever, Tobias (2011): „Last-Meter-Baulogistik – Intelligente Anlieferkonzepte für das komplexe Baustellenumfeld“, in: Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen, Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert, hrsg. von Willibald Günthner/ André Borrmann, VDI-Buch, Berlin, Heidelberg: Springer, Kap. 5.3.6, isbn: 9783642164866, DOI: 10.1007/9783-642-16486-6.
- [38] Rezgui, Yacine/ Zarli, Alain (2006): „Paving the Way to the Vision of Digital Construction: A Strategic Roadmap“, in: Journal of Construction Engineering and Management Band 132 – Heft 7, S. 767–776, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:7(767).

- [39] Fulford, Richard/ Standing, Craig (2014): „Construction industry productivity and the potential for collaborative practice“, in: International Journal of Project Management Band 32 – Heft 2, S. 315–326, issn: 0263-7863, DOI: 10.1016/j.ijproman.2013.05.007.
- [40] Wirtschaftskammer Österreich (2015): „Bau – Leistungs- und Strukturdaten 2015“.
- [41] Statistik Austria (2015): „Kennzahlen zur Personalproduktivität - Hauptergebnisse 2015 für ausgewählte Abschnitte“, URL: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/produktion\\_und\\_bauwesen/leistungs\\_und\\_strukturdaten/Wirtschaftskennzahlen/078054.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/produktion_und_bauwesen/leistungs_und_strukturdaten/Wirtschaftskennzahlen/078054.html) (besucht am 03.10.2017).
- [42] Statista (2017): „Öffentlicher Bau in Deutschland“, URL: <https://de.statista.com/statistik/studie/id/13752/dokument/oeffentlicher-bau-in-deutschland-statista-dossier/> (besucht am 17.10.2017).
- [43] BRZ Deutschland GmbH (2016): „IT-Trends in der Baubranche 2016“.
- [44] Statistik Austria (2016): „IKT-Einsatz in Unternehmen, Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien in Unternehmen 2014“, Forschungsber., URL: [http://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET\\_NATIVE\\_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=110838](http://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=110838) (besucht am 24.10.2017).
- [45] McKinsey & Company (2015): „Digital America: A Tale of the Haves and HaveMores“, URL: <http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-andinfrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future>. (besucht am 11.09.2017)
- [46] Friedrich, Roman/ Koster, Alex/ Groene, Florian et al. (2013): „The 2012 industry digitization index“, Forschungsber., Strategy&, URL: <https://www.strategyand.pwc.com/media/file/The-2012-industry-digitization-index.pdf>. (besucht am 20.06.2017)
- [47] Gartner (2013): „IT Metrics: IT Spending and Staffing Report, 2013“.
- [48] Underwood, Jason/ Khosrowshahi, Farzad (2012): „ICT expenditure and trends in the UK construction industry in facing the challenges of the global economic crisis“, in: Journal of Information Technology in Construction, Band 17, S. 26–41, ISSN: 1874-4753, URL: <http://usir.salford.ac.uk/22598/>.
- [49] Peansupap, Vachara/ Walker, Derek H.T. (2006): „Information communication technology (ICT) implementation constraints – A construction industry perspective“, in: Engineering, Construction and Architectural Management Band 13 – Heft 4, S. 364–379, issn: 0969-9988, DOI: 10.1108/09699980610680171.
- [50] ROADCON (2017): „Strategic Roadmap towards Knowledge-Driven Sustainable Construction“, URL: <http://cic.vtt.fi/projects/roadcon/public.html> (besucht am 21.09.2017).
- [51] Adriaanse, Arjen/ Voordijk, Hans/ Dewulf, Geert (2010): „The use of interorganisational ICT in United States construction projects“, in: Automation in Construction Band 19 – Heft 1, S. 73–83, issn: 0926-5805, DOI: 10.1016/j.autcon.2009.09.004.
- [52] Kivrak, Serkan/ Arslan, Gokhan/ Cagatay, Oytun (2010): „Information Technology Usage Impacts on Construction Projects' Success“, in: Proceedings of 10th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, Vilnius: Vilnius Gediminas Techn. Univ., S. 431–435.
- [53] Fitzgerald, Michael/ Kruschwitz, Nina/ Bonnet, Didier et al. (2014): „Embracing Digital Technology, A New Strategic Imperative“, English, in: MIT Sloan Management Review, Band 55 – Heft 2.

- [54] Conject (2015): „BIM-Umfrage 2015, Auswertung“, Forschungsber., URL: <https://www.conject.com/de/de/whitepaper-ergebnisse-der-conject-bimumfrage>.
- [55] Goger, Gerald/ Piskernik, Melanie/ Urban, Harald (2017): „Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen, Empfehlungen für zukünftige Forschung und Innovationen“, Forschungsber.
- [56] Molnar, Miklos/ Andersson, Ronny/ Ekholm, Anders (2007): „Benefits of ICT in the Construction Industry, Characterization of the Present Situation in Housebuilding Processes“, eng, in: Proceedings of the W78 Conference, Maribor 2007, S. 423–428, URL: <http://lup.lub.lu.se/record/935306> (besucht am 02.01.2018).
- [57] Boyes, Hugh (2014): „Building Information Modelling (BIM): Addressing the Cyber Security Issues“, Institution of Engineering und Technology.
- [58] Katz, R.L./ Koutroumpis, P. (2013): „Measuring digitization: A growth and welfare multiplier“, in: Technovation, Band 33 – Heft 10, S. 314–319, ISSN: 0166-4972, DOI: 10.1016/j.technovation.2013.06.004.
- [59] Sabbagh, Karim/ Friedrich, Roman/ El-Darwiche, Bahjat et al. (2013): „Digitization for Economic Growth and Job Creation: Regional and Industry Perspectives“, in: The Global Information Technology Report 2013, hrsg. von Beñat BilbaoOsorio/ Soumitra Dutta/ Bruno Lanvin, World Economic Forum, Kap. 1.2.
- [60] Saniee, I./ Kamat, S./ Prakash, S. et al. (2017): „Will productivity growth return in the new digital era? An analysis of the potential impact on productivity of the fourth industrial revolution“, in: Bell Labs Technical Journal, Band 20, ISSN: 1089-7089, DOI: 10.15325/BLTJ.2017.2714819.
- [61] Diermeier, Matthias/ Goecke, Henry (2017): „Productivity, Technology Diffusion and Digitization“, in: CESifo Forum, Band 18 – Heft 1, S. 26–32.
- [62] Chou, Yen-Chun/ Chuang, Howard Hao-Chun/ Shao, Benjamin B.M. (2014): „The impacts of information technology on total factor productivity: A look at externalities and innovations“, in: International Journal of Production Economics, Band 158 – Heft Supplement C, S. 290–299, ISSN: 0925-5273, DOI: 10.1016/j.ijpe.2014.08.003.
- [63] Hosseini, M. Reza/ Chileshe, Nicholas/ Zuo, Jian et al. (2012): „Approaches of Implementing ICT Technologies within the Construction Industry“, in: Australasian Journal of Construction Economics and Building, Band 1 – Heft 2, DOI:10.5130/ajceb-cs.v1i2.3161.
- [64] Jiang, Shaohua/ Zhang, Jian/ Zhang, Haiyan (2013): „Ontology-based Semantic Retrieval for Risk Management of Construction Project“, in: Journal of Networks, Band 8, DOI: 10.4304/jnw.8.5.1212-1220.
- [65] Zhou, Wei/ Whyte, Jennifer/ Sacks, Rafael (2012): „Construction safety and digital design: A review“, in: Automation in Construction, Band 22 – Heft Supplement C, Planning Future Cities-Selected papers from the 2010 eCAADe Conference, S. 102–111, ISSN: 0926-5805, DOI: 10.1016/j.autcon.2011.07.005.
- [66] Bock, T./ Linner, T./ Ikeda, W. (2012): „Exoskeleton and Humanoid Robotic Technology in Construction and Built Environment“, in: The Future of Humanoid Robots, Research and Applications, hrsg. von Riadh Zaier, InTech, ISBN: 978-953307-951-6, DOI: 10.5772/1407.