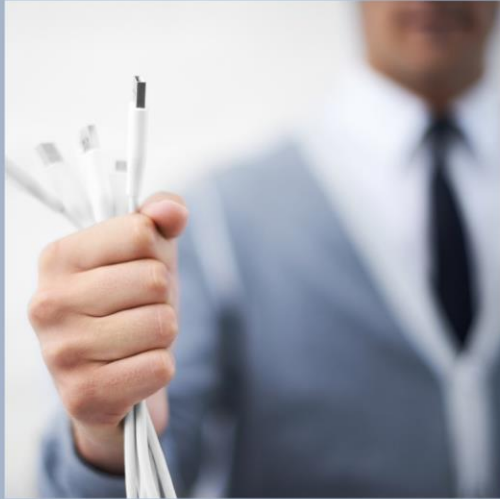


vbw

Die bayerische Wirtschaft



Studie

Digitales Planen und Bauen Schwerpunkt BIM

Eine vbw Studie, erstellt von Prof. Borrmann, Prof. Lang und Prof. Petzold (TUM)

Stand: Januar 2018

www.vbw-bayern.de

Vorwort

Potenziale der Digitalisierung in der Baubranche heben

Die Bauwirtschaft zählt sowohl gemessen an ihrem Wertschöpfungsbeitrag als auch an den Beschäftigten zu den wichtigsten Branchen in Bayern und Deutschland. Sie steht für enorme Investitionssummen, und die erfolgreiche Umsetzung von Bauvorhaben spielt sowohl in der Privatwirtschaft als auch für die Gesellschaft insgesamt eine Schlüsselrolle. Gleichwohl gibt es hier noch massive Potenziale zu heben, wie nicht zuletzt ein Fehlerkostenanteil am Branchenumsatz von durchschnittlich rund 11 Prozent belegt. Das ist Grund genug, einen vertieften Blick auf die Chancen und Herausforderungen zu richten, die die Digitalisierung für die Bauwirtschaft birgt.

Etliche Entwicklungen vollziehen sich im Rahmen der digitalen Transformation in ähnlicher Weise in sämtlichen Sektoren und Branchen der Wirtschaft, aber zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit unterschiedlichem Tempo. Das gilt beispielsweise für die strukturellen Veränderungen in der Arbeitswelt durch zunehmende Automatisierung und die stetigen Verbesserungen der Künstlichen Intelligenz oder für die wachsende Bedeutung von Plattformmärkten. Hier können alle Branchen von einem Blick über den Tellerrand profitieren.

Jede Branche hat aber auch ihre Besonderheiten und wird durch die Digitalisierung insoweit auf ihre ganz eigene Weise verändert. Im Bereich Planen und Bauen sind es unter anderem die neuen Möglichkeiten zur Kooperation über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg, von Anfang an und in Echtzeit. Entscheidender erster Schritt ist dabei die Einführung des Building Information Modeling. Das erfordert aber zugleich ganz neue Prozesse und auch eine Anpassung der tradierten Honorarordnung.

Mit der vorliegenden Studie – einer Auskoppelung aus der vbw Studie *Neue Wertschöpfung durch Digitalisierung* – wollen wir aufzeigen, wie die Digitalisierung aktuell und in naher Zukunft das Planen und Bauen beeinflusst, und welche Chancen sich unseren Unternehmen dadurch bieten.

Der Zukunftsrat der Bayerischen Wirtschaft hat aus der Gesamtschau der Trends, Potenziale und Hemmnisse quer durch alle Branchen und Sektoren konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet (*Neue Wertschöpfung durch Digitalisierung – Analyse und Handlungsempfehlungen*), die es nun umzusetzen gilt, um zusätzliche Wertschöpfung durch Digitalisierung am Standort Bayern bzw. Deutschland zu realisieren.

Inhalt

1	Neue Wertschöpfung durch Digitalisierung.....	1
2	Executive Summary	3
3	Ausgangslage	5
4	Building Information Modeling – Begriffsklärung	15
5	Formen der Projektabwicklung.....	19
6	Vorteile für die einzelnen Phasen eines Bauvorhabens.....	29
6.1	Strategische Ziele	29
6.2	BIM im Planungsprozess	29
6.3	BIM für die Ausschreibung und Vergabe.....	31
6.4	BIM in der Bauausführung	32
6.5	BIM im Gebäudebetrieb	32
6.6	BIM und Bauen im Bestand	33
6.7	BIM und Bürgerbeteiligung.....	35
7	Energie- und Materialeffizienz mit BIM.....	37
7.1	Energieeffiziente Gebäude.....	37
7.2	Vorteile der BIM-Datengrundlage.....	38
7.3	BIM und die Kreislaufwirtschaft.....	39
8	Stand der Einführung, international und in Deutschland.....	41
8.1	Stand der Einführung international.....	41
8.2	Stand der Einführung in Deutschland.....	43
9	Hemmnisse und Handlungsbedarf	49
10	Fazit	55
	Literaturverzeichnis.....	57
	Ansprechpartner / Impressum.....	63

Hinweis

Zitate aus dieser Publikation sind unter Angabe der Quelle zulässig.

1 Neue Wertschöpfung durch Digitalisierung

Schwerpunkt Digitales Planen und Bauen

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine – in den inhaltlichen Aussagen unveränderte – Auskoppelung aus der Gesamtstudie *Neue Wertschöpfung durch Digitalisierung*, die die vbw als Grundlage für die Arbeiten des Zukunftsrats der Bayerischen Wirtschaft 2017 herausgegeben hat.

Darin spannen verschiedene Autorentams den Bogen von den volkswirtschaftlichen Effekten der digitalen Transformation über neue Produkte, Prozesse und Geschäftsmodelle in allen drei Sektoren bis hin zu den gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen etwa auf dem Arbeitsmarkt oder im Bildungsbereich.

Die Auswirkungen und Potenziale der Digitalisierung im Bereich Planen und Bauen haben Prof. André Borrmann, Prof. Werner Lang und Prof. Frank Petzold von der Technischen Universität München bzw. dem Leonhard Obermeyer Center vertieft untersucht. Die Möglichkeiten sind vielfältig und werden bisher in Bayern und Deutschland zu wenig genutzt. Erster und daher wichtigster Schritt ist die konsequente Digitalisierung der Planung durch Einführung des sog. Building Information Modeling (BIM). Dieses bildet daher den Schwerpunkt der vorliegenden Studie.

Die Baubranche zeichnet sich durch eine eher kleinteilige Struktur aus, die bei Investitionsentscheidungen, wie sie bei der Umstellung auf BIM erforderlich werden, als Hemmnis wirken kann. Weitere Herausforderungen sind z. B. der Umgang mit sensiblen Daten oder eine Honorarordnung, die noch nicht auf die durch Digitalisierung veränderten Abläufe adaptiert ist. Angesichts der großen Potenziale müssen diese Hemmnisse zügig aufgehoben werden.

Der Zukunftsrat zeigt in seinen auf der Gesamtstudie aufbauenden Handlungsempfehlungen auf, was Staat, Wirtschaft und Wissenschaft tun müssen, damit wir den größtmöglichen Nutzen aus der Digitalisierung ziehen können. Näheres dazu und zu den Ergebnissen aus den weiteren untersuchten Teilbereichen finden Sie unter www.vbw-zukunftsrat.de.

2 Executive Summary

Das Wichtigste in Kürze

Während viele andere Branchen bereits einen tiefgreifenden Digitalisierungsprozess durchlaufen haben und durch die damit einhergehende Erhöhung von Effizienz und Prozessqualität profitieren konnten, steht dieser Modernisierungsprozess im Bauwesen noch weitgehend aus. Im überwiegenden Teil der Branche bilden nach wie vor konventionelle, 2D-gestützte Planunterlagen die Grundlage für den Informationsaustausch.

Digitalisierung im Bereich Planen und Bauen hat viele Facetten. Der mit Abstand wichtigste Digitalisierungsschub in den kommenden Jahren kommt dabei vom Konzept des Building Information Modeling (BIM). Das Konzept erlaubt die durchgängige Nutzung von digitalen Gebäudeinformationen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks – vom Entwurf, über die Detailplanung und Ausführung bis zum Betrieb und den möglichen späteren Rückbau des Gebäudes. Das BIM-Konzept geht einher mit dem Gedanken eines deutlich verbesserten Datenaustauschs und der dadurch erzielbaren Steigerung der Planungseffizienz durch Wegfall der aufwändigen und fehleranfälligen Wiedereingabe von Informationen. BIM verlagert wichtige Planungs- und Entscheidungsprozesse in frühere Projektphasen als bei konventionellen Planungsprozessen. Dank der Verfügbarkeit von modernen Softwarewerkzeugen steht der Umsetzung dieser Vision in der Planungspraxis aus technischer Sicht heute nichts mehr im Wege. Die größten Hemmnisse liegen derzeit in den tradierten Arbeitsabläufen sowie in rechtlichen und honorarbezogenen Fragen.

Die Vorteile von BIM erstrecken sich über sämtliche Phasen des Bauvorhabens. Bereits in der Vorentwurfsphase sind mithilfe von BIM approximative Kalkulationen und Simulationen möglich. Wichtige Faktoren wie Kosten oder Energiebedarf lassen sich dadurch bereits frühzeitig abschätzen. Auch bei Ausschreibungen und Vergabeverfahren gewährleisten digitale Gebäudemodelle eine höhere Kostensicherheit. In der Bauausführung erleichtert BIM unter anderem die Prüfung des Bauablaufs, die Koordination der Baustellenlogistik, das Controlling und das Mängelmanagement. Wird dem Bauherrn nach dem Bau das BIM-Modell übergeben, lässt sich außerdem das Facility Management auf der Basis der umfangreichen Informationen, beispielsweise zu Raumgrößen oder Elektroanschlüssen, effizienter betreiben.

Zwar ist das BIM-Konzept primär auf die Neubauplanung ausgerichtet. Doch die BIM-Programmsysteme können auch einen wichtigen Beitrag zur Erfassung bestehender Bausubstanz und beim Bauen im Bestand leisten. Weil BIM detaillierte Zusatzinformationen zu materialtechnischen und umweltbezogenen Eigenschaften einzelner Bauteile enthält, lassen sich außerdem energie- und materialeffiziente Entwürfe erstellen. Die Kreislaufwirtschaft stellt ein weiteres Anwendungsfeld der BIM-Programmsysteme dar, insofern als BIM durch die frühzeitige Dokumentation entsprechender Baustoffeigen-

schaften und Planungsstrategien den Rückbau und die Wiederverwertung von Bauteilen und Baustoffen sicherstellen kann.

Neben technischen Fragen hat der Aspekt der Bürgerbeteiligung an Bedeutung gewonnen. Eine transparente Einbindung der Öffentlichkeit kann gerade bei Großbauprojekten hilfreich sein, um das Vorhaben kosten- und termingerecht umsetzen zu können. BIM bietet durch Visualisierungstechniken und die Fülle an hinterlegten Informationen, unter anderem zur Lärmausbreitung, neue technische Möglichkeiten, um Bürger über ein Bauvorhaben zu informieren.

Während einzelne, besonders innovative Planungsbüros und Baufirmen Building Information Modeling bereits konsequent einsetzen, steht in Deutschland die flächendeckende Einführung noch bevor. Eine maßgebliche Rolle kommt dabei der öffentlichen Hand zu, die in vielen anderen Ländern die Nutzung von BIM in der Bauplanung bereits verbindlich vorgeschrieben hat.

In Deutschland wurde mit dem BIM-Stufenplan des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) eine wichtige Initiative gestartet, die die verbindliche Nutzung der BIM-Methodik für alle Bauvorhaben im Infrastrukturbereich ab 2020 vorsieht. In diesem Zuge hat auch die Deutsche Bahn angekündigt, bereits ab 2018 bei allen Bauvorhaben BIM einzusetzen. Die Auswirkungen auf die Branche sind bereits deutlich spürbar, maßgeblich durch eine Mobilisierung der Interessensverbände, eine Vielzahl entstandener Weiterbildungsangebote, den Beginn intensiver Arbeit an Normen und Richtlinien und die Durchführung einer Vielzahl von Pilotprojekten.

Die Einführung von BIM bildet eine wichtige Basis für die nachfolgenden tiefgreifenden Formen der Digitalisierung des Bauwesens, bei der insbesondere Formen des automatisierten Bauens im Sinne der Industrie 4.0 im Fokus stehen werden. Die Palette der (zum Teil noch zu entwickelnden) Technologien reicht dabei vom 3D-Drucken von faserbewehrten Betonbauteilen bis hin zum verstärkten Einsatz von Robotern auf der Baustelle, jeweils auf Basis hochwertiger digitaler Planungsdaten. Es steht zu erwarten, dass dieser technologische Sprung in den nächsten fünfzehn Jahren zu einem deutlichen Zuwachs an Produktivität im Bauwesen führen wird, verknüpft mit einem Zugewinn an Qualität und insbesondere einer Erhöhung von Zeit- und Kostensicherheit.

3 Ausgangslage

Das Bauwesen liegt in der Digitalisierung zurück

Deutschland steht vor großen gesellschaftlichen Herausforderungen – Energiewende, demografischer Wandel, Umbau von Stadt- und Siedlungsstrukturen, Sicherung internationaler wettbewerbsfähiger Wirtschaftsstrukturen, Bürgerbeteiligung und Digitalisierung. Vor diesem Hintergrund steht auch die Baubranche – bzw. etwas weiter gefasst der Bereich Planen und Bauen – vor großen Veränderungen und kann zur Lösung der genannten Herausforderungen beitragen.

Der Bereich Planen zeichnet sich durch einige Besonderheiten aus. So arbeiten insbesondere im Gegensatz zur „stationären“ Industrie bei der Realisierung von Bauprojekten häufig Beteiligte in dynamisch wechselnden Geschäftsbeziehungen miteinander. Dies liegt zum einen am Vergaberecht der öffentlichen Hand, die einen offenen und freien Wettbewerb fordert, und zum anderen an der Struktur der deutschen Bauwirtschaft, die eine sehr starke Fragmentierung aufweist.

Die wirtschaftliche Situation der deutschen Bauwirtschaft ist dabei gut. Die Branche wächst seit einigen Jahren kontinuierlich (Abbildung 1, Abbildung 2). Mit 4,8 Prozent des Bruttoinlandsprodukts ist sie die stärkste Einzelbranche der deutschen Volkswirtschaft mit 2,72 Millionen Beschäftigten¹ – dies entspricht ca. sechs Prozent der gesamten Erwerbstätigen in Deutschland.² Das Bauvolumen mit einem stetigen Wachstum erreichte 2016 einen Stand von 350,8 Milliarden Euro.³

In Bayern liegt die Bauwirtschaft mit 135 Milliarden Euro bzw. einem Anteil von 5,2 Prozent an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung ebenfalls an der Spitze aller Einzelbranchen. Über 445.000 Beschäftigte waren 2015 in Bayern in der Branche beschäftigt.⁴

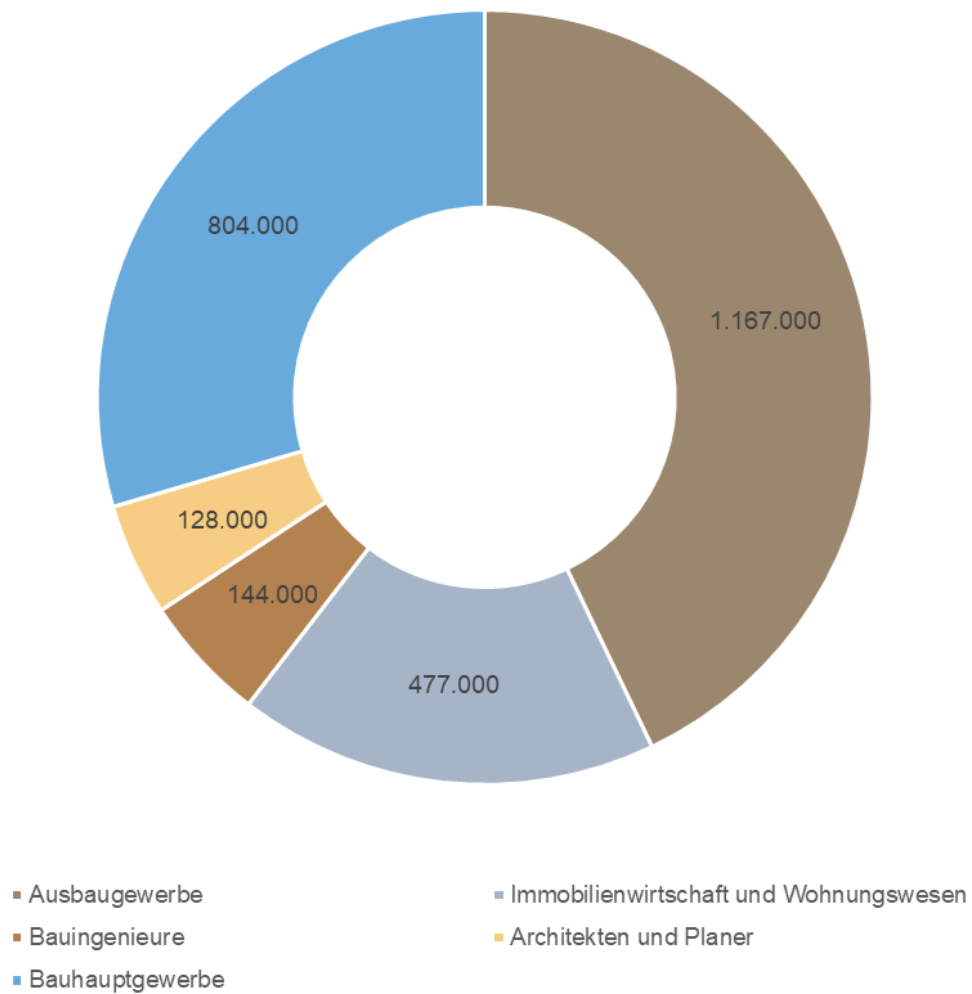
¹ HDB, 2015

² Nagel, 2016

³ Statista, 2016

⁴ Bayerisches Landesamt für Statistik, 2017.

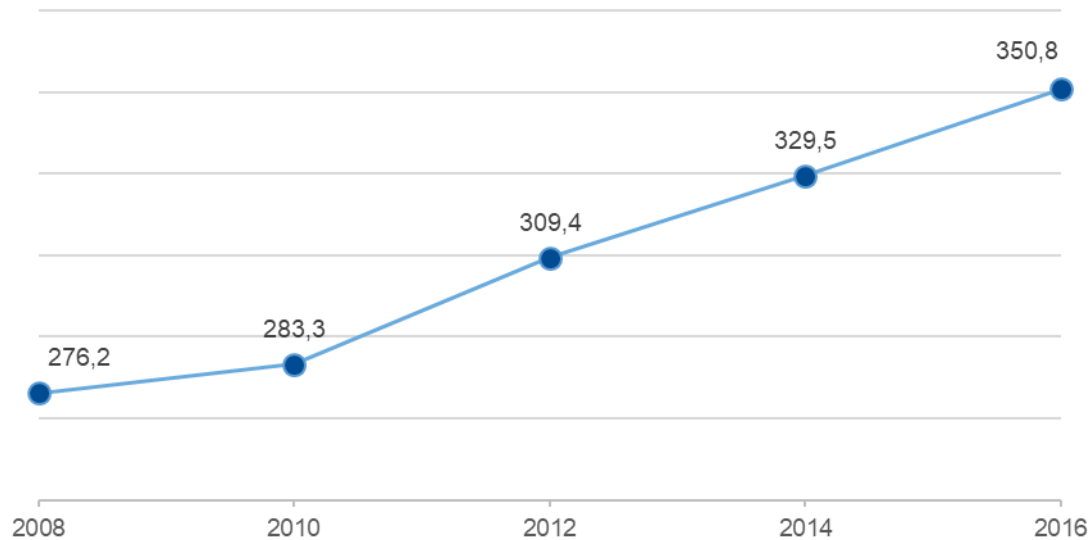
Abbildung 1

Arbeitgeber und Wirtschaftsfaktor Bauen: Gesamtbeschäftigte ausgewählter Berufe 2015/16**Arbeitgeber Bauen 2015/16**
Gesamtbeschäftigte ausgewählter Berufe

Quelle: Nagel, 2016

Abbildung 2

Arbeitgeber und Wirtschaftsfaktor Bauen: Entwicklung des Bauvolumens in Milliarden



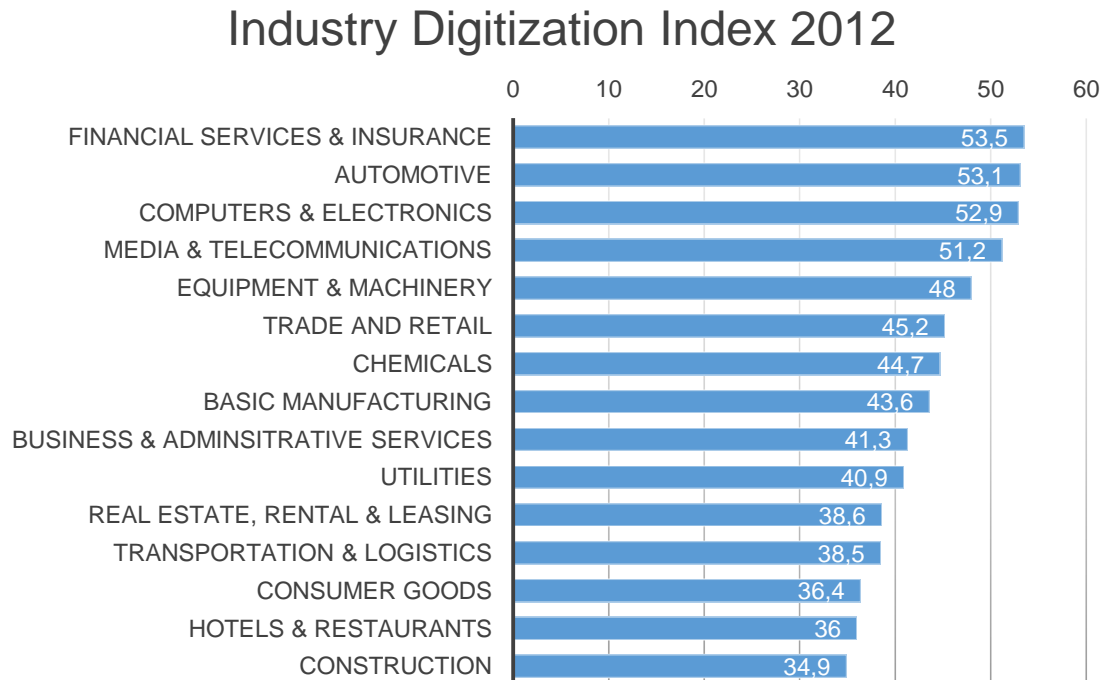
Quelle: Nagel, 2016; Statista, 2016

Demgegenüber ist die Produktivitätsentwicklung in der deutschen Bauwirtschaft im Vergleich zur gesamten deutschen Wirtschaft unterdurchschnittlich. Im Zeitraum von 2000 bis 2011 verzeichnete die Produktivitätsentwicklung in der Bauindustrie eine Steigerung von nur 4,1 Prozent – wenig im Vergleich zur gesamten deutschen Wirtschaft mit einer Verbesserung von ca. 11 Prozent.⁵

Gleichzeitig hat die Digitalisierung im vergangenen Jahrzehnt weite Bereiche der Wirtschaft erfasst und für einen Zugewinn an Produktivität in den unterschiedlichsten Industriesektoren gesorgt. Zwar werden auch im Bauwesen für die Planung, Errichtung und den Betrieb von Gebäuden digitale Werkzeuge eingesetzt, der Grad der Weiternutzung einmal erzeugter digitaler Informationen bleibt jedoch weit hinter dem anderer Branchen zurück (**Abbildung 3**).

⁵ Roland Berger, 2016a

Abbildung 3

Die Digitalisierung des Bauwesens liegt weiter hinter der anderer Branchen zurück

Quelle: PWC, 2012

Digitalisierung im Bauwesen findet heute höchstens innerbetrieblich statt. Aber selbst innerhalb von Bauunternehmen hat die Digitalisierung aktuell lediglich die Büroarbeitsplätze erreicht. Die eigentliche Kolonnen-, Maschinen- sprich: Prozesssteuerung auf Baustellen wird analog abgewickelt. Auch der Rückfluss von Baustellendaten für Controlling und Abrechnung basiert nur sehr selten auf strukturierten digitalen Daten.

In der heutigen, kaum digitalisierten Baubranche, gehen viel zu häufig wertvolle Informationen infolge der vorherrschenden Informationsübermittlung durch gedruckte Baupläne oder nur eingeschränkt weiterverwendbare Digitalformate verloren. Derartige Informationsbrüche treten über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks auf: angefangen bei den verschiedenen Phasen der Planung, über die Ausführung und die lange Phase der Bewirtschaftung bis hin zum Um- bzw. Rückbau des Bauwerks.

Die Planung und Realisierung von Bauwerken ist ein komplexer Vorgang mit einer Vielzahl von Beteiligten aus unterschiedlichen Fachdisziplinen. Für das Gelingen eines Bauvorhabens sind eine kontinuierliche Abstimmung und ein intensiver Informationsaustausch erforderlich. Dieser basiert heute zu einem überwiegenden Teil auf dem Austausch von technischen Zeichnungen, die Gebäudeinformationen vor allem in

grafischer Form von Schnitten, Grundrissen und Detailzeichnungen wiedergeben. Die eingesetzten Software-Produkte zum Erstellen derartiger Zeichnungen imitieren dabei die Jahrhunderte alte Arbeitsweise mit dem Zeichenbrett. Pläne werden dabei meistens baubegleitend entwickelt. Wöchentlich geänderte Planwerke sind keineswegs die Ausnahme. Die zuverlässige Verteilung der aktuell gültigen Dateiversionen zu allen Betroffenen setzt umfangreiches Informationsmanagement voraus. Daneben müssen je nach Bauwerk extrem viele Aufträge, Lieferscheine, Abnahmeprotokolle, Aufmaße und Rechnungen erzeugt, ausgetauscht und verarbeitet werden.

Strichzeichnungen können aber in der Regel nicht vom Computer interpretiert werden, d. h. die darin enthaltenen Informationen können zum großen Teil nicht automatisiert erschlossen und verarbeitet werden. Die Verbindung zwischen dem Detail im Bauplan und den jeweils mit diesem Bauteil verbundenen Produktions- und Kostendaten geht verloren. Dadurch bleibt das große Potential, das die Informationstechnologie zur Unterstützung der Projektabwicklung und Bewirtschaftung bietet, so gut wie ungenutzt. Eines der schwerwiegendsten Probleme liegt darin, dass die Konsistenz der verschiedenen technischen Zeichnungen heute häufig nur manuell geprüft werden kann. Daraus ergibt sich eine massive Fehlerquelle, vor allem angesichts der Tatsache, dass die Gebäudeinformationen über eine Vielzahl von Plänen verstreut vorliegen und diese von unterschiedlichen Fachplanern erstellt werden. Bauwerke werden extrem arbeitsteilig erstellt. Für zahlreiche Einzelleistungen wird jeweils eine Spezialfirma oder ein spezialisierter Planer in das Projekt eingebunden. Besonders bei auftretenden Änderungen – die heute i. d. R. mithilfe einer entsprechenden Markierung im betreffenden Plan gekennzeichnet werden – können sich schnell Unstimmigkeiten und Fehler ergeben, die häufig erst während der Bauausführung entdeckt werden und dann zu enormen Folgekosten führen.

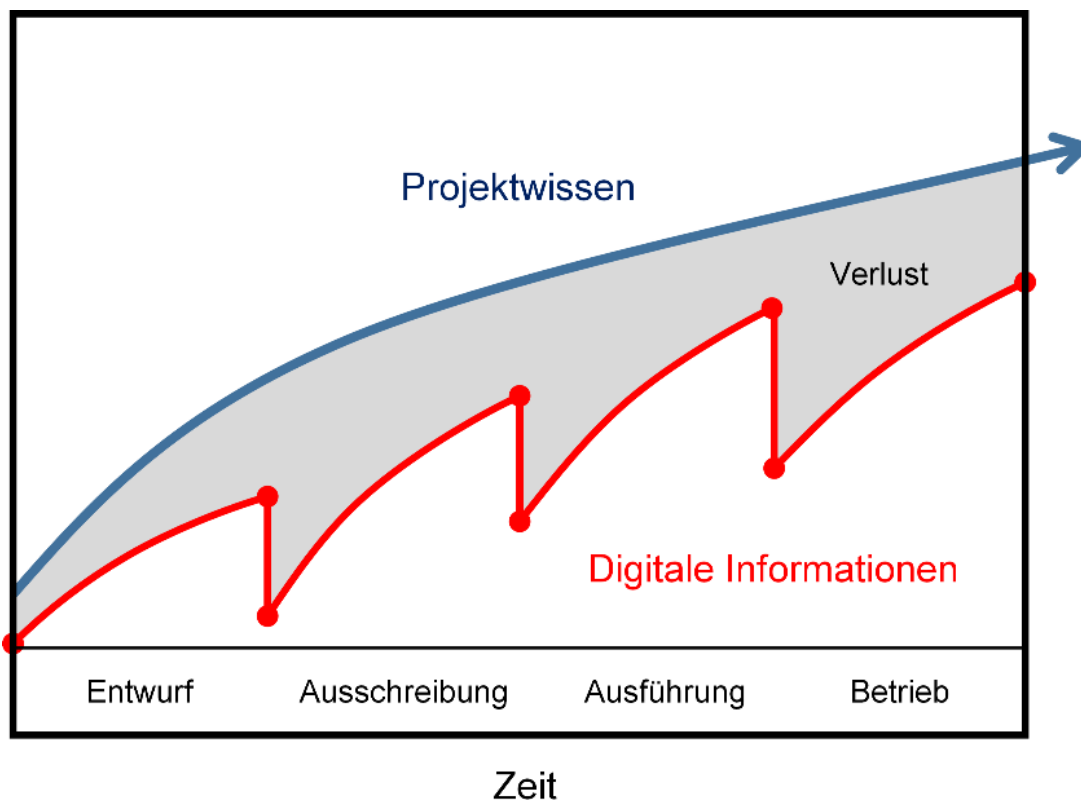
Beispielhaft sei hier auf die derzeit stark zunehmenden Schadensfälle im Bauwesen hingewiesen, die weitgehend auf Fehler in der Planung, Ausführungsplanung und Bauüberwachung zurückzuführen sind.⁶ Der Umfang des Fehlerkostenanteils am gesamten Branchenumsatz liegt im Schnitt bei rund 11 Prozent, was einer Summe von 10,5 Milliarden Euro – bezogen auf den statistisch erfassten baugewerblichen Gesamtumsatz im Jahr 2013 entspricht.⁷ Auch wenn sich aufgrund der fehlenden flächendeckenden Erfahrung mit Digitalisierungstechniken im deutschen Bauwesen derzeit keine konkreten Zahlen ableiten lassen, so kann dennoch davon ausgegangen werden, dass sich dadurch eine verbesserte Planung und Abstimmung über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg sicherstellen lässt, was zu einer deutlichen Reduktion der Fehleranfälligkeit beitragen dürfte.

⁶ IfB, 2015

⁷ BIC, 2014

Eine weitere signifikante Einschränkung infolge der mangelnden Informationstiefe der Baupläne besteht darin, dass Gebäudeinformationen für Simulationen, Analysen und Berechnungen nicht auf direktem Wege übernommen, sondern in den entsprechenden Softwarewerkzeugen erneut eingegeben werden müssen. Ebenso problematisch ist die Übergabe von Bauplänen an den Bauherrn nach der Fertigstellung des Gebäudes: Dieser muss mit viel Aufwand die notwendigen Informationen für den Betrieb des Gebäudes extrahieren und in ein Facility-Management-System überführen. Bei allen genannten Übergabepunkten gehen bereits vorliegende digitale Informationen wieder verloren (Abbildung 3).

Abbildung 4

Informationsverlust durch Brüche im Informationsfluss

Quelle: Eigene Darstellung

Digitale Technologien können helfen, die Informationsverluste durch Brüche im Informationsfluss im Zeitablauf eines Bauvorhabens signifikant zu senken. Im Bereich Planen und Bauen können dabei verschiedene digitale Technologien zum Einsatz kommen. Das mit Abstand wichtigste Instrument in dieser Hinsicht ist jedoch das Konzept des Building Information Modeling (BIM).

Die Idee des Building Information Modeling setzt genau am Schwachpunkt Informationsbrüche an. Durch die BIM-Methode bestehen viel tiefgreifendere Möglichkeiten zur Computerunterstützung bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken, da Bauwerksinformationen nicht in Zeichnungen abgelegt, sondern in Form eines umfassenden digitalen Bauwerksmodells erstellt, vorgehalten und weitergegeben werden. Die Koordination der Planung, die Anbindung von Simulationen, die Steuerung des Bauablaufs und die Übergabe von Gebäudeinformationen an den Betreiber können dadurch deutlich verbessert werden. Durch den Wegfall von Neueingaben und die konsequente Weiternutzung digitaler Informationen wird aufwändige und fehleranfällige Arbeit vermieden und ein Zuwachs an Produktivität und Qualität erzielt (eine ausführliche Darstellung von BIM folgt im anschließenden Kapitel).

Andere Industriezweige, wie beispielsweise die Automobilindustrie, setzen schon länger auf eine durchgängige modellgestützte Produktentwicklung und -fertigung und konnten dadurch erhebliche Effizienzgewinne erzielen.⁸ Dabei ist allerdings zu beachten, dass das Bauwesen anderen, zum Teil sehr schwierigen Randbedingungen unterworfen ist: Die Prozess- und Wertschöpfungskette liegt beispielsweise nicht in der Hand eines einzelnen Unternehmens, sondern ist über eine Vielzahl von Unternehmen (Architekturbüros, Fachplaner, Baufirmen) verteilt. Die Zusammenarbeit dieser Unternehmen wird i. d. R. immer nur für einzelne Bauvorhaben und nicht über längere Zeiträume hinweg vereinbart. Diese Randbedingungen führen dazu, dass vielfältige Schnittstellen zwischen verschiedenen Unternehmen existieren, an denen digitale Informationen übergeben werden müssen. Da eine zentrale Steuerung des Informationsflusses nicht gegeben ist, kommt im Bauwesen dem Kunden, also dem Bauherren, eine besondere Rolle zu. Er muss die Nutzung von BIM fordern, definieren und überwachen.

Momentan befindet sich die deutsche Bauwirtschaft an der Schwelle zur BIM-Einführung in der Breite. Zwar wird derzeit nur ein sehr kleiner Anteil der Bauprojekte BIM-gestützt abgewickelt. Staatlicherseits sind – insbesondere im Bereich der Deutschen Bahn – bereits mehrere BIM-basierte Modellprojekte in der Umsetzung, in Bayern zum Beispiel der Bahnknotenpunkte Bamberg. Es laufen jedoch vielerorts die Vorbereitungen für den Umstieg auf das modellgestützte Planen und Bauen – das reicht von der Erarbeitung von Normen und Richtlinien über die Durchführung von Pilotvorhaben bis hin zur Schulung einzelner Mitarbeiter. Zweifellos sind dafür finanzielle und zeitliche Investitionen von allen Seiten erforderlich, die sich aber durch die entstehenden Effizienzgewinne bezahlt machen werden.

Die vorliegende Studie geht vornehmlich auf die Methode „Building Information Modeling“ und damit auf das modellgestützte Planen und Bauen und die sich hieraus ergebenden Potenziale und Herausforderungen ein. Im Gesamtkontext der Digitalisierung

⁸ Heindorf, 2010

des Bauens liegt darin jedoch nur ein erster (wenn auch großer) Schritt. Der darauf aufbauende nächste Schritt liegt in der Digitalisierung und Automatisierung der Bauproduktion selbst. In diesem Kontext sind Technologien wie die individualisierte Vorfertigung (einschließlich „3D-Drucken“) sowie der Einsatz von Robotern und Drohnen auf der Baustelle voranzutreiben. Diese Verfahren bilden den Schlüssel für die „Industrie 4.0 im Bauwesen“ – oder kurz das „Bauen 4.0“.

Digitales Bauen jenseits von BIM

Die Diskussion um die Digitalisierung im Bauwesen wird vor allem von der bevorstehenden Einführung von BIM dominiert. Ohne Zweifel stellt BIM den derzeit wichtigsten Aspekt des digitalen Wandels im Bereich Planen und Bauen dar. Im Gesamtkontext der Digitalisierung des Bauens stellt BIM jedoch nur einen Schritt dar. BIM legt jedoch den Grundstein für die Digitalisierung und Automatisierung der Bauproduktion selbst.

Ein wesentliches Element der Digitalisierung bzw. der digitalisierungsgetriebenen Automatisierungspotenziale ist dem Thema 3D-Druck verbunden. Verfahren zum 3D-Druck von Beton sind Gegenstand einer Vielzahl von Forschungsprojekten. Beim herkömmlichen Betonbauprozess wird zunächst die Schalung konstruiert, in die der Frischbeton gegossen wird. Nach Erhärten des Betons wird die Schalung wieder entfernt. Dieses Verfahren ist sowohl in zeitlicher als auch in finanzieller Hinsicht kostspielig. Forscher an verschiedenen Universitäten u. a. der TU München oder der TU Dresden entwickeln zum Beispiel derzeit ein 3D-Druckverfahren, das es ermöglicht, Frischbeton schalungsfrei auf der Baustelle herzustellen. So soll in Zukunft ein Roboterarm einen Druckkopf automatisch führen, der mit einer Betonpumpe verbunden ist und Frischbeton gezielt ausbringen kann. Berechnungen zu Folge birgt diese Technologie Einsparungspotentiale von rund 30 Prozent. So könnte der Roh-Bau eines Einfamilienhauses in 10 Stunden gedruckt werden, während drei Arbeitskräfte bei konventioneller Bauweise sechs Tage dafür benötigen. Bis der Betondruck die Marktreife erreicht, müssen allerdings noch einige Herausforderungen bewältigt werden. Zum einen ist die Entwicklung einer schnellerstarrenden Frischbetonzusammensetzung erforderlich, die zum schichtweisen Austragen mittels 3D-Druck geeignet ist und optimale Festigkeitseigenschaften aufweist. Zum anderen muss ein geeigneter Druckkopf entwickelt werden, der auch im Verbund mit vorhandener Maschinenteknik genutzt werden kann.⁹

Auch die Entwicklung von Bau-Robotern hat begonnen. Leistungsstarke, ferngesteuerte Abbruchroboter sind beispielsweise schon auf dem Markt erhältlich. Vieles spricht dafür, dass Roboter und autonome Systeme eine zunehmende Bedeutung erlangen werden. So konnten Forscher der Universität Harvard zeigen, dass Roboter, die komplett durch künstliche Intelligenz gesteuert werden, in der Lage sind, untereinander zu

⁹ TU Dresden, 2016

kommunizieren und Arbeiten im Team zu bewerkstelligen.¹⁰ Auch (halb-)automatische Maurer-Roboter befinden sich derzeit in der Entwicklung. In einem Pilotprojekt einer australischen Firma konnte ein Maurer-Roboter unter Rückgriff auf CAD-basierte 3D-Baupläne bis zu 1.000 Ziegelsteine pro Stunde selbständig zuschneiden, mit Mörtel befüllen, und mit Hilfe eines Greifarms in der richtigen Position ablegen. Der Roboter bewerkstelligt damit den Rohbau eines kompletten Hauses innerhalb von zwei Tagen, wofür ein Maurerteam vier bis sechs Wochen benötigen würde.¹¹

Früher als der 3D-Druck oder Bau-Roboter dürften Drohnen auf der Baustelle flächen-deckend zum Einsatz kommen. Drohnen mit hochauflösenden Foto- und Videokame-ras und schneller Netzwerktechnik sind in der Lage, ein genaues Bild der Baustelle aus der Luft zu erstellen. Aus den hochauflösenden Daten können anschließend dreidi-mensionale Karten erzeugt werden, um den Baufortschritt detailgenau zu dokumentie-ren.¹²

¹⁰ CIC, 2014

¹¹ Ingenieur, 2015

¹² Handelsblatt, 2017

4 Building Information Modeling – Begriffsklärung

Nutzung eines digitalen Gebäudemodells über den gesamten Lebenszyklus

Unter einem Building Information Model (BIM) versteht man ein umfassendes digitales Abbild eines Bauwerks mit großer Informationstiefe.¹³ Dazu gehören neben der dreidimensionalen Geometrie der Bauteile vor allem auch nicht-geometrische Zusatzinformationen, wie Typinformationen, technische Eigenschaften oder Kosten. Der Begriff Building Information Modeling beschreibt entsprechend den Vorgang zur Erschaffung, Änderung und Verwaltung eines solchen digitalen Bauwerkmodells mit Hilfe entsprechender Softwarewerkzeuge.

Im erweiterten Sinne wird dieser Begriff jedoch auch verwendet, um damit die Nutzung dieses digitalen Modells über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks hinweg zu beschreiben – also von der Planung, über die Ausführung bis zur Bewirtschaftung und schließlich zum Rückbau (**Abbildung 5**). Vor allem hierin liegt das enorme Potential der BIM-Technologie: Wenn über die einzelnen Phasen hinaus Daten konsequent weitergenutzt werden, kann die bislang übliche aufwändige und fehleranfällige Wiedereingabe von Informationen auf ein Minimum reduziert werden.

Das Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) definiert entsprechend den Begriff Building Information Modeling wie folgt:¹⁴ „*Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.*“

Das BIM-Konzept ist nicht neu. In der Tat wurden bereits in den 1970er Jahren die ersten Forschungsarbeiten zum Aufbau und zum Einsatz virtueller Gebäudemodelle veröffentlicht.¹⁵ Der Begriff Building Information Modeling wurde das erste Mal 1992 in einem Paper der Wissenschaftler van Nederveen und Tolman verwendet.¹⁶ Eine weite Verbreitung erlangte der Begriff jedoch erst nach seiner Verwendung durch die Firma Autodesk in einem White Paper im Jahr 2003.¹⁷ Mittlerweile stehen äußerst leistungsfähige Softwarewerkzeuge zur Verfügung, sodass die zunächst nur theoretisch entwickelten Konzepte heute Eingang in die industrielle Praxis gefunden haben.

¹³ Borrmann et al., 2015

¹⁴ BMVI, 2015b

¹⁵ Eastman et al., 1974

¹⁶ van Nederveen und Tolman, 1992

¹⁷ Autodesk, 2003

Abbildung 5

Building Information Modeling beruht auf der durchgängigen Nutzung und verlustfreien Weitergabe eines digitalen Gebäudemodells über den gesamten Lebenszyklus



Quelle: Eigene Darstellung

Augenfälligstes Merkmal eines Building Information Model ist die dreidimensionale Modellierung des Bauwerks, die das Ableiten von konsistenten 2D-Plänen für Grundrisse und Schnitte ermöglicht. Wesentlich ist aber, dass BIM-Entwurfswerkzeuge im Unterschied zu reinen 3D-Modellierern einen Katalog mit bauspezifischen Objekten anbieten, der vordefinierte Bauteile wie Wände, Stützen, Fenster, Türen etc. beinhaltet. Diese Bauteilobjekte kombinieren die meist parametrisierte 3D-Geometriedarstellung mit weiteren beschreibenden Merkmalen und definierten Beziehungen zu anderen Bauteilen. Die Arbeit mit diesen Bauteilen ist unter anderem deshalb notwendig, damit später Pläne aus dem BIM abgeleitet werden können, die den geltenden Vorschriften und Normen entsprechen. Daneben erlaubt die bauteilorientierte Modellierung eines Bauwerks vor allem auch die unmittelbare Anwendung unterschiedlichster Analyse- und Simulationswerkzeuge.

Dabei sind softwareseitige Synergien mit anderen Branchen, in denen die digitale Transformation bereits viel weiter fortgeschritten ist, wie der Maschinen-, Fahrzeug-

und Elektroindustrie durchaus gegeben. So werden mitunter die hoch leistungsfähigen CAD-Systeme dieser Branchen auch für die Modellierung von Gebäuden und anderen Bauwerken eingesetzt. Allerdings erfordern die spezifischen Randbedingungen des Bauwesens, u. a. die notwendige Tiefe des Informationsaustauschs in der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit und die generelle Trennung von Planung und Ausführung in der Regel die Nutzung bauspezifischer Softwaresysteme für die Umsetzung der BIM-Methodik. Wichtigstes Unterscheidungsmerkmal zu den Informationsmodellen der „stationären“ Industrie ist die viel stärkere Integration von Semantik, d. h. von Bauteiltypen, Attributen und Beziehungen, in die BIM-Modelle.

5 Formen der Projektabwicklung

BIM gibt es in zahlreichen verschiedenen Ausprägungen

5.1 Little bim vs. BIG BIM, Closed BIM vs. Open BIM

Der Umstieg von der herkömmlichen zeichnungsgestützten auf die modellgestützte Arbeit macht Änderungen an den unternehmensinternen und unternehmensübergreifenden Prozessen notwendig. Um die Funktionstüchtigkeit der Abläufe nicht zu gefährden, ist ein schrittweiser Übergang sinnvoll. Entsprechend unterscheidet man bei der Umsetzung von BIM verschiedene technologische Stufen.

Die einfachste Unterscheidung wird mit den Begriffen „BIG BIM“ und „little bim“ vorgenommen.¹⁸ Dabei bezeichnet little bim die Nutzung einer spezifischen BIM-Software durch einen einzelnen Planer im Rahmen seiner disziplinspezifischen Aufgaben. Mit dieser Software wird ein digitales Gebäudemodell erzeugt und es werden Pläne abgeleitet. Die Weiternutzung des Modells über verschiedene Softwareprodukte hinweg geschieht nicht. Ebenso wenig wird das Gebäudemodell zur Koordination der Planung zwischen den beteiligten Fachdisziplinen herangezogen. BIM wird in diesem Fall also als Insellösung innerhalb einer Fachdisziplin eingesetzt, die Kommunikation nach außen wird weiterhin zeichnungsgestützt abgewickelt. Zwar lassen sich mit little bim bereits Effizienzgewinne erzielen, das große Potential einer durchgängigen Nutzung digitaler Gebäudeinformationen bleibt jedoch unerschlossen. Im Gegensatz dazu bedeutet BIG BIM die konsequente modellbasierte Kommunikation zwischen allen Beteiligten über alle Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes hinweg. Für den Datenaustausch und die Koordination der Zusammenarbeit werden in umfassender Weise Internetplattformen und Datenbanklösungen eingesetzt (siehe **Abbildung 6**).

Orthogonal dazu steht die Frage, ob ausschließlich Softwareprodukte eines Herstellers eingesetzt werden und für den Datenaustausch entsprechende proprietäre Schnittstellen genutzt werden, oder ob offene, herstellernerneutrale Datenformate zum Einsatz kommen, die den Datenaustausch zwischen Produkten verschiedener Hersteller ermöglichen. Zwar bieten einzelne Softwarehersteller eine erstaunliche Palette von Softwareprodukten für das Bauwesen an und können damit eine große Bandbreite der Aufgaben in Planung, Bau und Betrieb abdecken. Allerdings wird es auch weiterhin Lücken geben, bei denen Produkte anderer Hersteller zum Einsatz kommen müssen. Die Heterogenität der Softwarelandschaft ergibt sich darüber hinaus insbesondere aus der Vielzahl der beteiligten Fachdisziplinen und der Verteilung der Aufgaben über verschiedene Unternehmen.

¹⁸ Jernigan, 2008

Das sich daraus ergebende Problem der mangelnden Interoperabilität verursacht enorme Kosten: 2004 führte das US-amerikanische Institut für Standards und Technologie (NIST) eine Studie durch, die die im Jahre 2002 bei Planung, Ausführung und Betrieb anfallenden Mehrkosten infolge mangelnder Interoperabilität zwischen den eingesetzten Softwaresystemen mit 15,8 Milliarden US-Dollar bezifferte.¹⁹ Diese Situation beginnt sich nur langsam zu ändern.

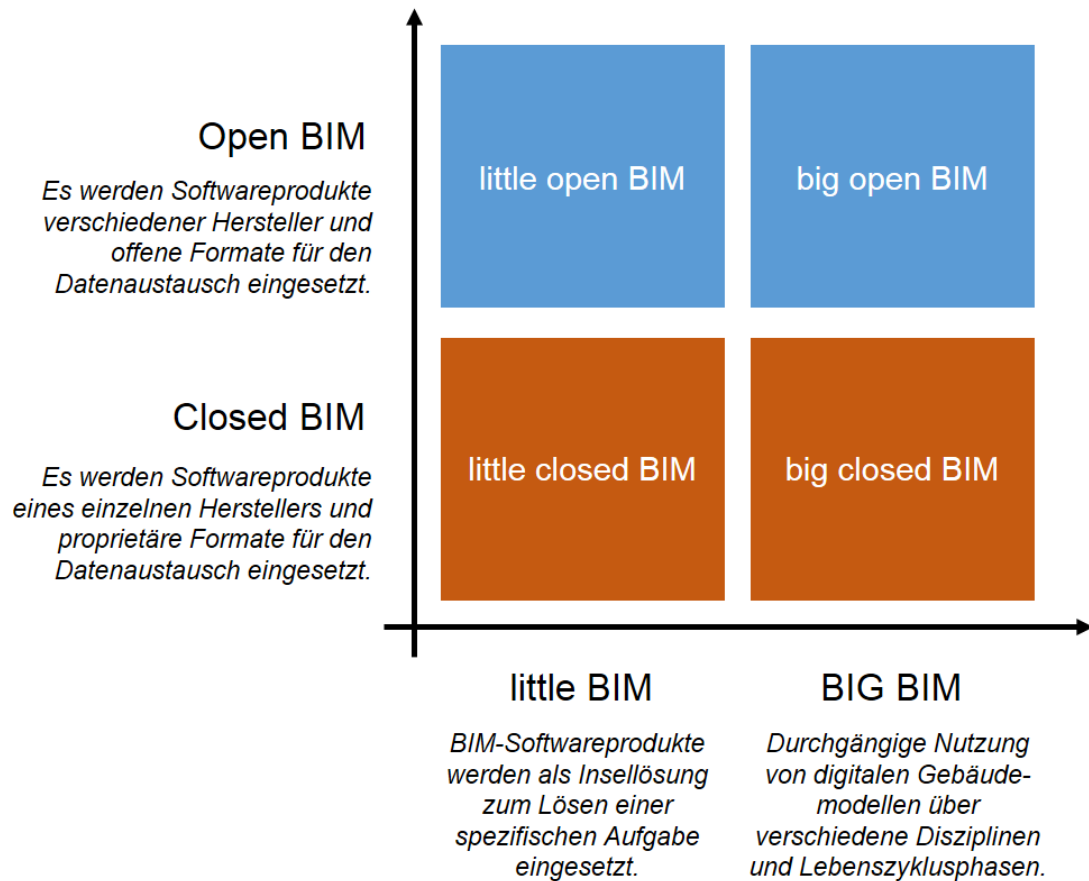
Um dieser enormen Verschwendung von Wirtschaftskraft zu begegnen und den Datenaustausch zwischen Softwareprodukten des Bauwesens zu verbessern, gründete sich Anfang der 1990er Jahre die Internationale Allianz für Interoperabilität (IAI), eine internationale Non-Profit-Organisation, die sich 2003 in buildingSMART umbenannt hat. Ihr ist es gelungen, ein herstellerunabhängiges Datenformat zur umfänglichen Beschreibung von Bauwerksmodellen zu schaffen, das den Namen Industry Foundation Classes (IFC) trägt. Das Datenmodell beinhaltet umfangreiche Datenstrukturen zur Beschreibung von Objekten aus nahezu allen Bereichen des Hochbaus. Es wurde 2013 in den ISO-Standard 16739 überführt und bildet die Grundlage einer Vielzahl nationaler Richtlinien zur Umsetzung von Open BIM.²⁰ In Deutschland befindet sich beispielsweise die DIN 16739 als Spiegelnorm kurz vor der Verabschiedung.

¹⁹ *Gallagher et al., 2004*

²⁰ *ISO, 2013*

Abbildung 6

Die unterschiedlichen Formen der BIM-Projektabwicklung



Quelle: Eigene Darstellung, nach: Hausknecht und Liebich, 2016

Es ist jedoch anzumerken, dass die Nutzung herstellernerneutraler Formate heute noch nicht immer einwandfrei funktioniert und der Datenaustausch zum Teil fehlerbehaftet ist. Dies liegt vor allem darin begründet, dass sowohl die Schaffung von Neutralformaten als auch deren korrekte Implementierung durch die Softwarehersteller technisch äußerst anspruchsvoll sind. Es gibt jedoch genügend Grund für die Annahme, dass die verbleibenden technischen Probleme bald gelöst werden, wenn dieses Ziel von den Softwareherstellern mit der nötigen Ernsthaftigkeit verfolgt wird. Diese wird insbesondere davon abhängen, wie stark der Markt (bzw. die Bauherren) die Nutzung von Open BIM einfordert. Bedenkt man jedoch die negativen Auswirkungen, die eine zu große Marktdominanz eines einzelnen Softwareherstellers mit sich bringt, ist die Philosophie des Open BIM in jedem Fall der vorzuziehende Weg. **Abbildung 7** fasst die Vor- und Nachteile der verschiedenen Projektabwicklungsformen zusammen.

Abbildung 7

Übersicht zu den Vor- und Nachteilen der BIM-Projektabwicklungsformen

Little BIM	vs.	Big BIM
<ul style="list-style-type: none"> + Beschränkung auf wenige, gut zu beherrschende BIM-Anwendungsfälle + einfache Realisierung bei Fokussierung auf unternehmensinterne Prozesse - eingeschränkter Nutzen für die Bauherren 		<ul style="list-style-type: none"> + Weitergabe hochwertiger digitaler Informationen über die gesamte Prozesskette und an nachfolgende Unternehmen erlaubt tiefgreifende Wertschöpfung - Einführung langwierig und komplex + Nutzbarkeit des Modells für den Betrieb und die Instandhaltung
Closed BIM	vs.	Open BIM
<ul style="list-style-type: none"> + geringe Probleme beim Datenaustausch - Abhängigkeit von einem einzelnen Softwarehersteller - Vielfalt der benötigten Softwarewerkzeuge kann nicht abgebildet werden - Konflikte mit gesetzlich vorgeschriebener Produktneutralität bei öffentlichen Ausschreibungen 		<ul style="list-style-type: none"> - häufig noch kein verlustfreier Datenaustausch möglich + Unabhängigkeit von einzelnen Softwareherstellern + Unabhängigkeit in der Wahl der Softwarewerkzeuge + herstellerneutrale Ausschreibungen wie gesetzlich gefordert

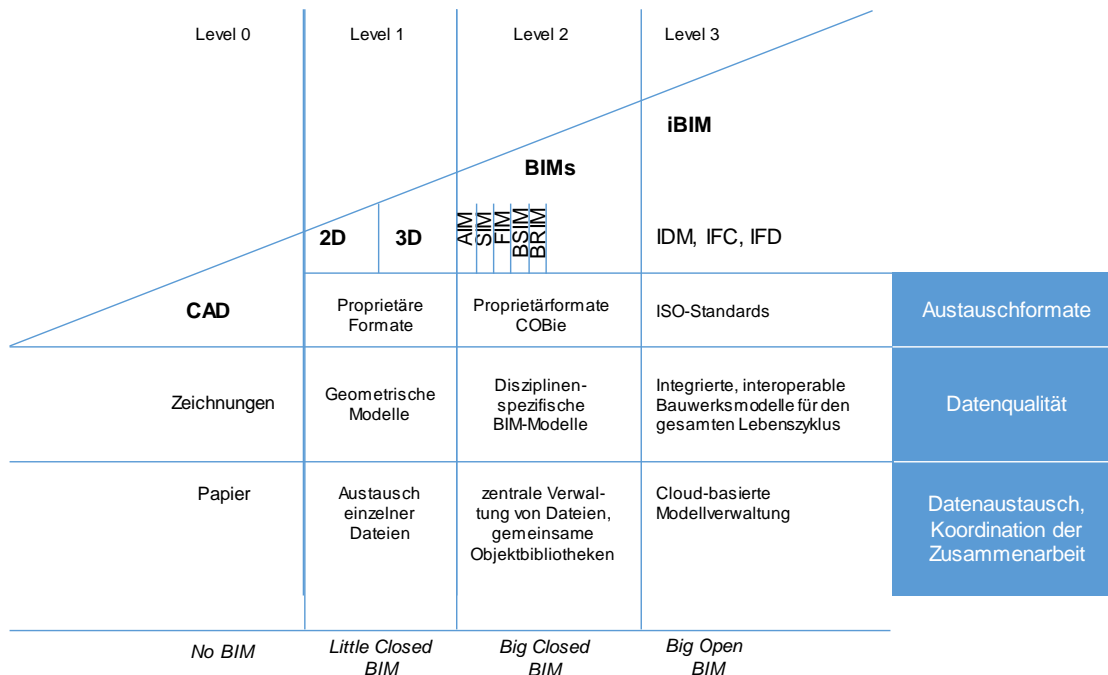
Quelle: Eigene Darstellung

5.2 BIM-Reifegradstufen

Die Bauindustrie kann den Umstieg auf die durchgängige modellgestützte Arbeit im Sinne von BIG Open BIM nicht in einem Zug bewältigen, stattdessen ist eine schrittweise Einführung dieser neuen Technologie sinnvoll. Von der britischen BIM Task Group wurde in diesem Zusammenhang ein BIM-Reifegradmodell (engl. BIM Maturity Model) eingeführt, das vier verschiedene Stufen der Umsetzung von BIM definiert (Abbildung 8).

Abbildung 8

Die BIM Maturity Ramp der britischen BIM Task Group definiert vier verschiedene Reifegradstufen.



Anmerkung: Seit April 2016 wird in Großbritannien Level 2 für alle öffentlichen Bauvorhaben verbindlich gefordert.

Quelle: Eigene Darstellung nach BIM Task Group, 2011

Stufe 0 beschreibt dabei das konventionelle Arbeiten mit 2D-CAD und den Austausch von papiergedruckten Plänen. Stufe 1 beinhaltet das Erzeugen von 3D-Modellen für kritische Bereiche des geplanten Gebäudes, die mit herkömmlichen 2D-Zeichnungen koexistieren. Der Datenaustausch geschieht durch das Versenden einzelner Dateien, eine zentrale Projektplattform existiert nicht.

Level 2 sieht die Nutzung von BIM-Software zum Erstellen digitaler Gebäudemodelle vor. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Fachplaner jeweils eigene, voneinander unabhängige Modelle erzeugen, die jedoch regelmäßig miteinander abgeglichen werden (Abbildung 8). Der Datenaustausch basiert auf dem Austausch von Dateien, es kommen herstellerspezifische Formate zum Einsatz. Zur Abstimmung und Koordination

werden die Daten auf einer gemeinsamen Projektplattform, dem Common Data Environment vorgehalten. Level 2 wird seit April 2016 für öffentliche Bauvorhaben in Großbritannien verbindlich vorgeschrieben,²¹ entsprechende Normen und Richtlinien sind bereits im Vorfeld verabschiedet worden²² und finden zum Teil Eingang in die internationale Standardisierung (ISO19650).

Level 3 sieht die Umsetzung von BIG Open BIM vor, d. h. es werden ISO-Standards für den Datenaustausch und für die Beschreibung der Prozesse eingesetzt und ein integriertes digitales Modell über den gesamten Lebenszyklus verwendet. Für das Datenmanagement kommen Modell-Server zum Einsatz, die einen Zugriff über Cloud-Technologien erlauben.

Im Stufenplan des BMVI wird eine zum britischen Level 2 sehr ähnliche Umsetzungstiefe beschrieben, die hier jedoch als „Leistungsniveau 1“ bezeichnet wird.²³ Wichtigster Unterschied ist die verbindliche Nutzung offener Datenformate wie die Industry Foundation Classes (IFC) oder der Objektkatalog für das Straßenwesen (OKSTRA) für die Übergabe der Modelle an den Auftraggeber.

5.3 Vertragliche Vereinbarungen

Eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung von BIM sind vertragliche Vereinbarungen hinsichtlich der Modellinhalte, der Modellqualität und der Prozessabläufe, letzteres insbesondere in Bezug auf die Übergabe von Modellen. Ein genereller rechtlicher Rahmen wird durch ein BIM-Protokoll festgelegt, wie es beispielsweise vom britischen Construction Industry Council (CIC) herausgegeben wurde.²⁴ Darin werden die zu verwendende Terminologie und allgemeine Verantwortlichkeiten festgelegt.

Des Weiteren wurden im englischsprachigen Raum die Begriffe Employer's Information Requirements (EIR) und BIM Execution Plan (BEP) geprägt. Dabei handelt es sich um Dokumente, die vom Auftraggeber bzw. Auftragnehmer ausgearbeitet werden und Bestandteil der vertraglichen Vereinbarungen sind. Im Deutschen haben sich die Übersetzungen Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungsplan (BAP) etabliert. Im AIA legt der Auftraggeber im Rahmen der Ausschreibung fest, welche Ziele mit der Nutzung von BIM verfolgt werden und auf welche Weise die digitale Projektabwicklung umgesetzt werden soll.²⁵ Dabei werden detaillierte Festlegungen zu Verantwortlichkeiten, Übergabezeitpunkten, verwendeter Software und einzusetzender Datenaustauschformate getroffen. Zur Beschreibung der Modellinhalte wird auf klar

²¹ *Cabinet Office*, 2011

²² *British Standards Institution*, 2013

²³ *BMVI*, 2015b

²⁴ *CIC*, 2013

²⁵ *BIM Task Group*, 2013

definierte Modell-Ausarbeitungsgrade verwiesen, die in den verschiedenen Richtlinien mit den Begriffen Level of Development, Level of Detail oder Level of Model Definition bezeichnet werden.

Im BAP beschreibt der potentielle Auftragnehmer, wie er die Anforderungen der AIA umsetzen möchte. Erhält der Bieter den Zuschlag für den Auftrag wird ein zweiter, detaillierter BAP aufgesetzt. Sowohl AIA als auch BAP werden immer projektspezifisch ausgearbeitet, können aber auf entsprechenden Mustern beruhen. Von verschiedenen Institutionen wurden hierzu passende Vorlagen zur Verfügung gestellt.²⁶ In Deutschland wird die Erarbeitung allgemeingültiger Muster derzeit vorbereitet; in den BMVI-Pilotvorhaben wurden bereits projektspezifische AIAs eingesetzt.²⁷

5.4 Neue Rollen und Berufsbilder

Mit der Abwicklung von BIM-Projekten entstehen vielfältige neue Aufgaben in Bezug auf die Verwaltung digitaler Bauwerksmodelle und der Koordination der Informationsflüsse. Damit entstehen auch neue Rollen und damit in letzter Konsequenz neue Berufsbilder. Der BIM-Leitfaden für Deutschland definiert in diesem Zusammenhang die Rollen des BIM-Managers und des BIM-Koordinators.²⁸

Aufgabe des BIM-Managers ist es, eine Strategie für die Qualitätssicherung im Gesamtprojekt auszuarbeiten und die notwendigen Arbeitsabläufe festzulegen. Der BIM-Manager übernimmt die regelmäßige Zusammenführung der Fachmodelle und darauf aufbauend die Koordination der verschiedenen Planungsdisziplinen. Nach der erfolgten Prüfung und Kollisionsbereinigung werden die einzelnen Fachmodelle bzw. das Gesamtmodell durch den BIM-Manager freigegeben und zur Dokumentation des Planungsprozesses archiviert.

Für jede Fachdisziplin gibt es einen eigenen BIM-Koordinator. Er ist für die Qualität des bereitzustellenden Fachmodells verantwortlich und muss die Einhaltung von BIM-Standards und -Richtlinien, Datensicherheit, Datenqualität überwachen. Insbesondere muss er sicherstellen, dass das Modell im vereinbarten Ausarbeitungsgrad zu jeweiligen Meilensteinen bereitgestellt wird.

Der BIM-Manager und die einzelnen BIM-Koordinatoren müssen im Laufe des Projekts eng zusammenarbeiten, insbesondere wenn sie unterschiedlichen Unternehmen angehören. In diesem Zusammenhang soll auch darauf hingewiesen werden, dass bei Bauprojekten generell dem Prozess- und Projektmanagement eine zunehmende Bedeutung zukommt. Bei BIM-Projekten können diese Aufgaben zum Teil vom BIM-Manager übernommen werden.

²⁶ AEC UK, 2012b; Richards et al., 2013; CIC, 2013; PennState, 2011

²⁷ Borrmann et al., 2016

²⁸ Egger et al., 2013

Die Richtlinien des britischen Construction Industry Council (CIC) definieren hingegen die Rolle des Information Manager.²⁹ Er übernimmt nicht die Aufgabe der Modellzusammenführung oder der Koordination der Gewerke, sondern ist allein für das Festlegen und Überprüfen der Datenaustauschprozesse sowie das fristgerechte Liefern der vereinbarten Modellinhalte und Modellqualitäten verantwortlich. Darüber hinaus betreibt er das Common Data Environment und achtet auf dessen Integrität.

Abbildung 9 zeigt die Aufgabenverteilung zwischen BIM Manager, BIM Coordinator und BIM Modeler, wie sie vom britischen AEC BIM Protocol vorgesehen ist. In Deutschland wird momentan im Rahmen der VDI-Richtlinie 2552 eine Definition der neuen Aufgaben vorbereitet und es werden Kriterien für die Zertifizierung von Personal festgelegt. Es ist noch Gegenstand der Diskussion, ob sich neue Berufsbilder ergeben oder bestehende Berufe um BIM-spezifische Kompetenzen erweitert werden müssen.

Abbildung 9

Aufgabenverteilung zwischen BIM Manager, Coordinator und Modeler

Role	Strategic						Management				Production	
	Corporate Objectives	Research	Process + Workflow	Standards	Implementation	Training	Execution Plan	Model Audit	Model Coordination	Content Creation	Modelling	Drawing Production
BIM Manager	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N
BIM Coordinator	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N
BIM Modeler	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y

Quelle: Eigene Darstellung nach AEC UK, 2012a

Insgesamt lässt sich festhalten, dass in einer zunehmend digitalen Bauwirtschaft auch die Komplexität der einzelnen Aufgaben permanent zunimmt. Vielfältige Anforderungen an das fertige Produkt müssen in Einklang gebracht werden. Angesichts der rasanten

²⁹ CIC, 2014

Entwicklung neuer Konstruktionsmöglichkeiten für die Gebäudehülle, der rasanten Entwicklung bei der technischen Gebäudeausstattung und deren Wechselwirkungen mit einander und der geplanten Nutzung schreitet der Spezialisierungsprozess bei Planern und Zulieferern rasant voran. Die bisherige „Konkurrenz“ von Bauingenieur und Architekt verliert vor diesem Hintergrund an Bedeutung. Die kooperative Einbindung von Fachplanern und anderen Disziplinen ist zur Beherrschung der Komplexität längst unverzichtbar. Der damit einhergehende Bedarf an neuen Rollen und Berufsbildern macht sich mittlerweile auch in der Hochschulausbildung bemerkbar. So zielt der interdisziplinär angelegte Masterstudiengang "Digitalisiertes Bauen" an der OTH Regensburg darauf ab, bereits bei der Erstausbildung von Ingenieuren dafür zu sorgen, dass Schnittstellen zu benachbarten Disziplinen genutzt werden. Eine ähnliche Intention zeigt die Technische Universität München mit der Zusammenführung von Studenten aus den Bereichen Architektur, Bauingenieurwesen und Informatik oder der "Coburger Weg" in der Fakultät Design der Hochschule Coburg, wo Bauingenieure und Architekten gemeinsame Abschlussarbeiten verfassen.

6 Vorteile für die einzelnen Phasen eines Bauvorhabens

Signifikante Verbesserungspotenziale durch BIM in allen Phasen

6.1 Strategische Ziele

Mit der BIM-Einführung wird das strategische Ziel verfolgt, die Effizienz und Zuverlässigkeit des Bauwesens durch einen umfassenden Einsatz digitaler Technologien zu erhöhen. Dies betrifft die Kosteneffizienz ebenso wie die terminliche Zuverlässigkeit und die Qualität der Bauwerke, beispielsweise im Sinne eines reduzierten Energieverbrauchs. In diese Richtung zielt auch die BIM-Strategie der britischen Regierung, die mithilfe der Digitalisierung des Bauens eine Kostenreduzierung von 15 Prozent bis 20 Prozent und eine Reduktion der Treibhausgase um 50 Prozent beabsichtigt.³⁰

6.2 BIM im Planungsprozess

Mit der Umsetzung der BIM-Methodik ergibt sich für den Planungsprozess eine Vielzahl von Vorteilen. Bereits in frühen Entwurfsphasen werden die Vorteile der BIM-basierten Arbeitsweise sichtbar. In der Vorentwurfsplanung ermöglichen Modelle bzw. Modellvarianten (bestehend aus Raumzonen) approximative Kalkulationen und Simulationen von beispielsweise Kosten, Rendite, thermischer Behaglichkeit und Energiebedarf. Entwürfe und Entwurfsalternativen können mit den Bauherren direkt am 3D-Gebäudemodell diskutiert werden. Somit werden Entscheidungs- und Abstimmungsprozesse erleichtert und können valider gestaltet werden.

Die wesentlichen technischen Zeichnungen, einschließlich der verschiedenen Ansichten, Grundrisse und Schnitte werden direkt aus dem Modell abgeleitet und sind damit automatisch untereinander widerspruchsfrei. Es können Kollisionskontrollen zwischen den Teilmodellen der verschiedenen Gewerke durchgeführt werden, um auf diese Weise Konflikte frühzeitig zu erkennen.

Des Weiteren können verschiedene Berechnungs- und Simulationsprogramme angeschlossen werden, die eine Vielzahl von Informationen, wie beispielsweise zur Gebäudegeometrie, direkt aus dem Modell übernehmen. Dazu gehören statische Nachweise ebenso wie Wärmebedarfsberechnungen, Evakuierungssimulationen und Beleuchtungsanalysen. Durch die enorme Informationstiefe, die ein Building Information Model

³⁰ *Cabinet Office, 2011*

bietet, kann der überwiegende Teil der benötigten Eingangsinformationen direkt aus dem Modell abgeleitet werden. Zudem wird durch den hohen Informationsgehalt im Hinblick auf die Qualität und Menge der eingesetzten Baustoffe die Erstellung von Ökobilanzen in relativ frühen Planungsphasen erleichtert.

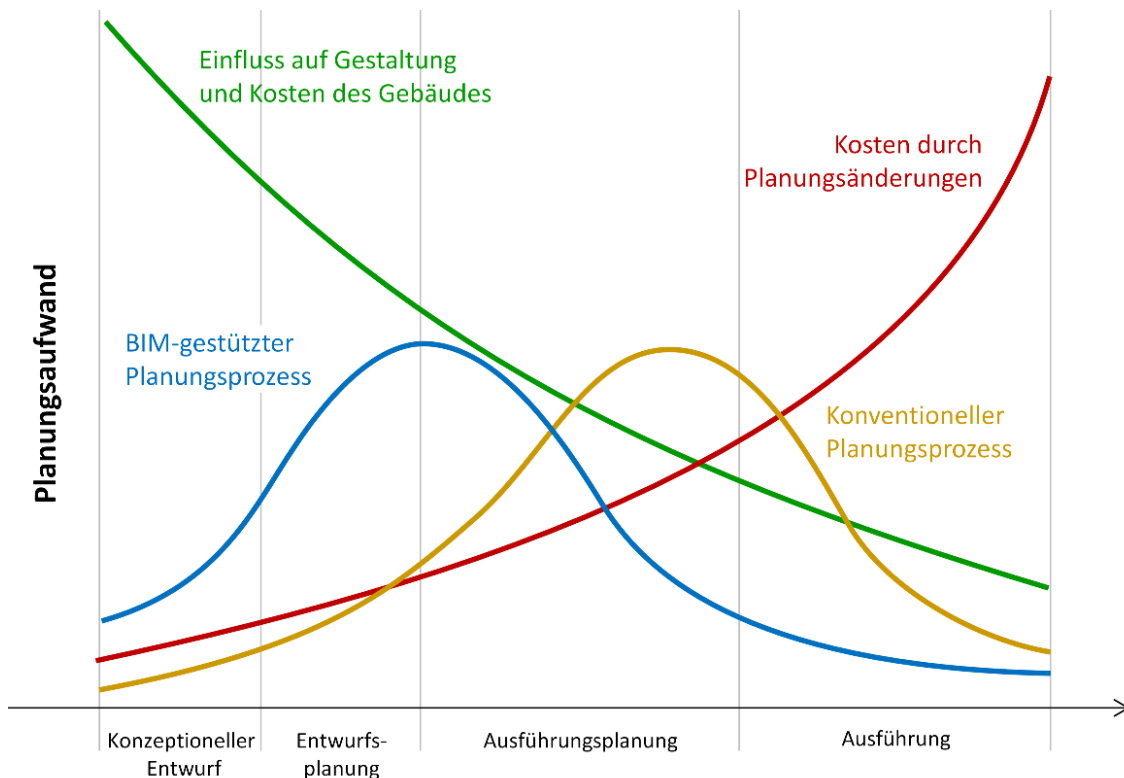
Zum Teil kann das Modell zudem auf Einhaltung von gesetzlichen Vorschriften Normen und Richtlinien geprüft werden. Und schließlich erlaubt das BIM-Modell eine äußerst präzise Mengenermittlung, was die Grundlage für eine zuverlässige Kostenschätzung bildet und darüber hinaus das Erstellen des Leistungsverzeichnisses für die Ausschreibung erheblich beschleunigt.

Durch den Einsatz von BIM in der Planung ergibt sich gegenüber den bisherigen Abläufen eine Aufwandsverlagerung, die mit Abbildung 10 illustriert wird. Bei der konventionellen Planung wird der Hauptaufwand zur Ausarbeitung des Entwurfs in späten Phasen geleistet. Das führt dazu, dass die Anwendung verschiedener Analyse- und Simulationswerkzeuge und die umfassende Bewertung des Entwurfs erst zu einem fortgeschrittenen Zeitpunkt möglich sind. Dann sind die Möglichkeiten zur Änderung des Entwurfs allerdings bereits sehr begrenzt bzw. führen zu erheblichen zusätzlichen Kosten.

Im Gegensatz dazu verlagert der BIM-gestützte Planungsprozess den Planungsaufwand in die frühen Phasen, in dem bereits hier ein umfassendes digitales Modell des Entwurfs geschaffen wird. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass dieses Modell bereits in diesen frühen Phasen für erste Simulationen und Berechnungen verwendet werden kann. Auf diese Weise können unterschiedliche Entwurfsoptionen eingehend untersucht werden, was zu einem verringerten Aufwand in späten Planungsphasen und einer erhöhten Entwurfsqualität führt.

Abbildung 10

Building Information Modeling führt zu einer Vorverlagerung von Planungs- und Entscheidungsprozessen.



Quelle: Eigene Darstellung nach MacLeamy, 2004

6.3 BIM für die Ausschreibung und Vergabe

Mengen wie Volumina und Flächeninhalte bilden eine wichtige Eingangsgröße für die auftraggeberseitige Erstellung von Leistungsverzeichnissen im Rahmen der Ausschreibung und die bieterseitige Erstellung eines Angebots. Während diese Mengen bislang mühsam und fehleranfällig aus 2D-Plänen mittels händischer Berechnungen ermittelt werden, erlaubt BIM eine direkte modellgestützte Ermittlung. Die Bereitstellung eines digitalen Gebäudemodells im Rahmen der Ausschreibung erleichtert den Baufirmen damit die Aufwandsermittlung für die Angebotsabgabe. In der Folge werden Fehler beidseitig reduziert, Nachträge vermieden und eine höhere Kostensicherheit gewährleistet. Verknüpft man die Modellinformationen mit Informationen zum Bauablauf und zu den Kosten, erhält man ein sogenanntes 5D-Modell, das die Basis für eine modellgestützte Baufortschrittskontrolle und Abrechnung bilden kann.

6.4 BIM in der Bauausführung

Aber nicht nur in der Planung, sondern auch für Vorbereitung und Begleitung der Bauausführung bietet die Nutzung von BIM enorme Vorteile. Die Nutzung eines digitalen Gebäudemodells ermöglicht sowohl ein präzises Controlling als auch eine klar dokumentierte Abrechnung gegenüber dem Auftraggeber. Mithilfe eines 4D-BIM, das durch Kombination der Bauteilobjekte mit den geplanten Fertigstellungszeiträumen erzeugt wird, kann der Bauablauf geprüft, etwaige Unstimmigkeiten bzw. räumliche Kollisionen frühzeitig erkannt und die Baustellenlogistik koordiniert werden. Und schließlich kann die Abrechnung von Bauleistungen sowie das Mängelmanagement wiederum anhand eines BIM realisiert werden. Zur Umsetzung stehen dabei mobile Lösungen zur Verfügung, beispielsweise auf Tablets, die einen Vor-Ort-Zugriff auf das Modell erlauben.

6.5 BIM im Gebäudebetrieb

Weitere ganz wesentliche Vorteile des BIM-Ansatzes ergeben sich aus der Nutzung des digitalen Gebäudemodells über die vergleichsweise lange Nutzungs- bzw. Bewirtschaftungsphase. Voraussetzung hierfür ist die Übergabe des BIM-Modells vom Planer (bzw. Ausführenden) an den Bauherrn, ggf. ergänzt um Informationen aus der Ausführung. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem As-built Model, das die tatsächliche Bauausführung einschließlich Änderungen an der Bauteilgeometrie bzw. den verbauten Einbauteilen und Geräten beinhaltet.

Werden dem Bauherrn anstelle von „toten“ Zeichnungen hochwertige digitale Informationen in Form eines Building Information Models übergeben, kann er diese direkt für das Facility Management verwenden und dabei beispielsweise Informationen zu den Raumgrößen, Elektro- und Haustechnikanschlüssen direkt übernehmen. Für den Betrieb des Gebäudes besonders hilfreich sind Zusatzinformationen zu den verbauten technischen Geräten einschließlich der Wartungsintervalle und Garantiebedingungen. Wichtig ist die kontinuierliche Pflege des digitalen Gebäudemodells, d. h. dass alle Änderungen am realen Gebäude auch im digitalen Abbild entsprechend nachgeführt werden müssen. Kommt es zu größeren Umbaumaßnahmen oder wird das Gebäude am Ende seines Lebenszyklus zurückgebaut, kann das Modell genauen Aufschluss über die verbauten Materialien geben und ermöglicht so eine umweltgerechte Entsorgung bzw. das Recycling von Bauteilen.

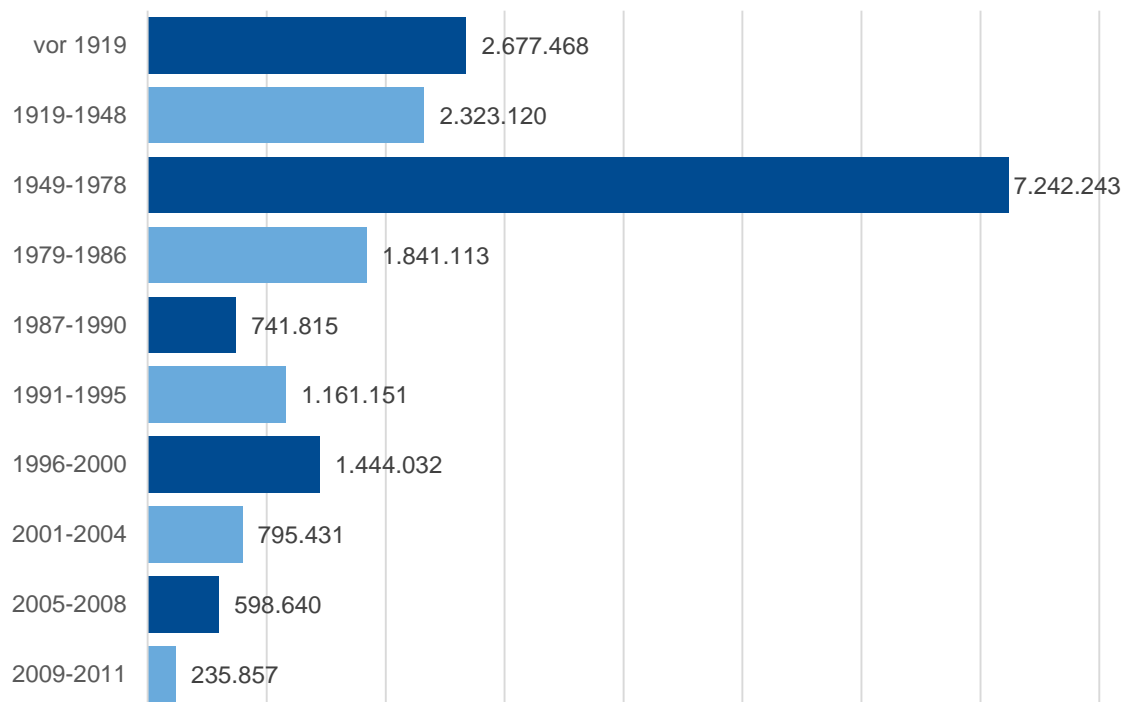
Der Einsatz von BIM in Planung und Ausführung kann auch zu Synergien mit Smart-Home-Anwendungen führen. So kann die hierfür notwendige Sensorik bereits während der Planungsphase im Modell virtuell eingebaut und simulativ getestet werden. Ebenfalls von Bedeutung ist die bessere Beherrschbarkeit der komplexen Elektroplanung bei Smart-Home-Installationen. Auf der anderen Seite erlaubt das kontinuierliche Erfassen von Raumtemperaturen sowie der Heiz- bzw. Kühllast die Überprüfung des zuvor per Simulation ermittelten Energiebedarfs und ggf. eine Kalibrierung der Simulationsparameter.

6.6 BIM und Bauen im Bestand

Sowohl im Wohnungsbau als auch im Nichtwohnungsbau hat es in den letzten Jahren eine deutliche Verschiebung hin zu Baumaßnahmen im Bestand gegeben. Mehr als zwei Drittel der gesamten Bautätigkeit findet im Bestand statt, im Wohnungsbau sogar über 80 Prozent.³¹

Abbildung 11

Bestand an Gebäuden mit Wohnraum aufgeschlüsselt nach dem Baulter



Quelle: Destatis, 2013

Die statistische Erhebung aus dem Jahr 2011 (Abbildung 6) erfasste 19.060.870 Gebäude mit Wohnraum.³² In Bayern umfasst der Bestand an Wohngebäuden 2.934.602 im Jahr 2010 und 2.993.729 Gebäude (einschließlich Wohnheimen) im Jahr 2015.³³ Zu den existierenden Wohnbauten kommt noch der Bestand an Verwaltungs- und Schulbauten, Krankenhäusern und anderen Bauwerken hinzu. In den nächsten Jahrzehnten

³¹ BBSR, 2011

³² Destatis, 2013

³³ LfStat, 2016

werden die Aufgaben der Bauwirtschaft folglich zunehmend im Bauunterhalt, der Instandsetzung, der energetischen Modernisierung und im altersgerechten Umbau liegen.

Das Bauen im Bestand unterscheidet sich vom Neubau im Wesentlichen durch das „reale“ Vorhandensein der Bausubstanz und ist das Ergebnis von baulichen Veränderungen, die im Laufe des Lebenszyklus an dem ursprünglich geplanten und ausgeführten Bauwerk vorgenommen wurden. Die Praxis zeigt, dass Veränderungen nicht oder nur teilweise dokumentiert sind. Somit bildet die Erfassung von Bauwerken eine essenzielle Grundlage für das Bauen im Bestand.

Das Bauaufmaß – die Erfassung der sichtbaren (messbaren) Oberflächen – ist ein zentraler Bestandteil für die Planung im Bestand. Die Grundlage stellen dabei geodätische Vermessungsmethoden dar, die auf der Erfassung von sichtbaren Einzelpunkten (Handaufmaß, Tachymetrie) sowie flächenhaft erfassenden Verfahren (photogrammetrische Verfahren, Laserscanning) beruhen. Die Erfassung erfolgt meist in Kombination mit entsprechender Erfassungssoftware. Durch Kenntnisse struktureller Zusammenhänge und den Einsatz ergänzender diagnostischer Verfahren sowie der Auswertung von Befunden werden Bauteile und konstruktive Zusammenhänge rekonstruiert und abgebildet. Gegenwärtig erfolgt eine nachträgliche Digitalisierung, bei der das erstellte Bestandsmodell mit einem separaten BIM-Modell überlagert wird, welches als Grundlage für die weitere Planung dient.

Das primäre Einsatzgebiet der Planungsmethode BIM ist die Neubauplanung. Dies spiegelt sich im Funktionsumfang aktuell verfügbarer BIM-Programmsysteme wieder, die beispielsweise parallele Wandoberflächen und die Orthogonalität von Wandelementen voraussetzen. Im gewachsenen Baubestand sind Abweichungen von diesen Konventionen jedoch regelmäßig vorzufinden.

Für die Abbildung des Bestandes muss ein Kompromiss zwischen den Genauigkeitsanforderungen und den Möglichkeiten des BIM-Programmsystems erfolgen. Der Zweck der Bauaufnahme ist immer von der späteren Verwendung des Modells abhängig und somit auch der Grad der Detaillierung und die Genauigkeit des zu erstellenden Modells.

Bei der Erfassung des Bestandes im Rahmen von Umbau- und Sanierungsmaßnahmen werden bereits bei der Bauaufnahme zweckgebundene Generalisierungen vorgenommen. Der gesamte Umbauprozess kann darauf aufbauend in einem semantischen Modell abgebildet werden. Dafür müssen die vom Umbau betroffenen Bauteilobjekte mit verschiedenen Zuständen – wie beispielsweise Bestand, Abbruch, Ertüchtigung oder Neubau – im Modell repräsentiert werden. Dabei wird meist auf geeignete BIM-Objektkataloge zurückgegriffen.

Bauaufnahmen im Bereich Denkmalmalpflege und Bauforschung erfordern hingegen hohe Genauigkeiten und erlaubt damit nur eine geringe Generalisierung des Modells. Der Aufwand der Abbildung in einem BIM-Programmsystem steigt dabei und Teilas-

pekte sind mit verfügbaren Systemen nicht vollständig abbildbar. Ist bei der Abbildung in einem BIM-System eine Generalisierung notwendig, so muss sichergestellt werden, dass der Zusammenhang zwischen erzeugtem BIM-Modell und den aufgemessenen Daten, beispielsweise 3D-Punktwolken von Laserscan-Verfahren, im weiteren Planungsprozess immer nachvollziehbar ist.

Die adäquate Abbildung von Altbausubstanz in BIM-Systemen wird als wesentlicher Schlüssel zur besseren Informationsverarbeitung in der Planung im Bestand angesehen. Damit kann ein wesentlicher Beitrag zur Planungssicherheit und letztendlich zur Kostensicherheit von Revitalisierungs-, Umbau- und Sanierungsprojekten geleistet werden.

6.7 BIM und Bürgerbeteiligung

Vor dem Hintergrund teils gravierender Konflikte, die in den letzten Jahren durch größere Bauprojekte verursacht wurden, gewinnt die soziale Nachhaltigkeit von Bauvorhaben an Bedeutung. Fühlt sich die Bevölkerung nicht ausreichend in die Planungsprozesse einbezogen, können Proteste, Klagen und Verzögerungen im Planungsablauf die Folge sein. Häufig können Bauvorhaben dann nicht mehr kosten- und termingerecht realisiert werden. Eine angemessene und transparente Beteiligung der Öffentlichkeit spielt folglich bei der Realisierung von Bauprojekten und insbesondere bei Großbauprojekten eine immer wichtigere Rolle. Für Projekte im Infrastrukturbereich wurde 2014 vom BMVI ein „Handbuch für eine gute Bürgerbeteiligung bei der Planung von Großvorhaben im Verkehrssektor“ herausgegeben.³⁴

Im Rahmen der Beteiligungsprozesse müssen derzeit jedoch die Planungsunterlagen aufwendig aufbereitet werden, da ohne Erfahrung im Lesen von 2D-Plänen – Grundrisse, Schnitte, Ansichten und Perspektiven – sowie im Interpretieren von Simulationsergebnissen Entwürfe nur schwer kommuniziert und Fragen beantwortet werden können.

Liegen hingegen BIM-Modelle (und 3D-Stadtmodelle) vor, so können nicht nur verschiedene Planungsvarianten eines Bauvorhabens am Bildschirm dargestellt werden, sondern mit Virtual Reality-Anwendungen können Bauvorhaben immersiv im Maßstab 1:1 begehbar oder direkt auf der Baustelle mit Augmented Reality Anwendungen in der realen Umgebung intuitiv erlebbar gestaltet werden. Zusätzlich zum virtuellen Bauwerk können weitere Informationsebenen, wie Lärmausbreitung, Verschattung oder Sichtbarkeitsbeziehungen, interaktiv eingeblendet werden. Die Kommunikation wird damit im Rahmen von Bürgerbeteiligungen vereinfacht und ermöglicht eine transparente soziale Nachhaltigkeit von Bauvorhaben.

³⁴ BMVI, 2014

Im Rahmen von Forschungsprojekten, wie beispielsweise „Visualisierung in Bürgerbeteiligungsverfahren – „VisB+“³⁵ oder „Game.UP-Gamification im Städtebau“³⁶, werden u. a. Visualisierungstechniken auf Verständlichkeit und Glaubwürdigkeit untersucht sowie die Anwendung von Methoden der Gamification als Visualisierungsform im Kontext der Stadtplanung.

Durch den Einsatz semantischer 3D-Modelle und adäquater Visualisierungstechniken können sich Bürger aus einer realen (Ego-) Perspektive über Planungsvorhaben informieren und zwar unabhängig davon, ob sie abstrakte Modelldarstellungen oder zweidimensionale Pläne verstehen. Bürger können somit nicht nur frühzeitig in Planungsprozesse einbezogen werden, sondern können mithilfe digitaler Verfahren und Simulationen ein besseres Bild von der Planungsmaßnahme gewinnen.

³⁵ Vgl. <http://www.visbplus.de>

³⁶ Vgl. <http://www.ai.ar.tum.de/forschung/gameup>

7 Energie- und Materialeffizienz mit BIM

Eine gute Basis für die Erhöhung der Effizienz

Entsprechend dem Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) der Bundesregierung soll - verglichen mit dem Jahr 2008 - bis zum Jahr 2020 in Deutschland 20 Prozent weniger Primärenergie verbraucht werden. Darüber hinaus sollen die Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2020 um 40 Prozent gegenüber dem Stand von 1990 verringert werden. Um diese Ziele zu erreichen ist besonders das Bauwesen gefordert, alle zur Verfügung stehenden Mittel einzusetzen, um die Potenziale zur Reduktion des Bedarfs an nicht-erneuerbaren Energien und zur Maximierung des Einsatzes erneuerbarer Energien zu nutzen.

Dieser Forderung entsprechend sieht die im Jahr 2010 verabschiedete Europäische Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden vor, dass ab Jahresbeginn 2021 nur noch Niedrigstenergiegebäude gebaut werden dürfen. Hierunter versteht man Gebäude, die eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz aufweisen. Der damit fast bei null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden.³⁷

Darüber hinaus soll gemäß den Zielen der Bundesregierung die „Nachhaltigkeit von Gebäuden [...] vermehrt über den Lebenszyklus durch Einbeziehung ökologischer, ökonomischer wie auch sozialer Aspekte transparent, messbar und überprüfbar ausgewiesen werden [...]. Die Beurteilung soll sich dabei auf wissenschaftlich anerkannte Methoden der Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenrechnung stützen“.³⁸

7.1 Energieeffiziente Gebäude

In Anbetracht dieser weitreichenden Vorgaben bzw. Forderungen wird deutlich, dass zur Umsetzung zukunftsfähiger Gebäude alle Phasen des Lebenszyklus von Gebäuden – von der Planung, der Erstellung über die Nutzung und Erneuerung bis zum Rückbau und Recycling – berücksichtigt werden müssen, um eine minimale Belastung des Naturhaushalts sicherzustellen. Hierzu finden sich in den Umweltdeklarationen (Environmental Product Declarations, EPD) für Bauprodukte wichtige Informationen, wodurch die Materialauswahl im Planungsprozess erleichtert wird.

³⁷ *European Parliament, 2010*

³⁸ *BMUB, 2016*

Um in gesamtheitlicher Hinsicht optimierte, den künftigen Anforderungen entsprechend energieeffiziente und nachhaltige Gebäude planen, errichten, betreiben und rückbauen zu können, sind im Rahmen des Planungsprozesses folgende Ziele zu berücksichtigen:

- Minimaler Energiebedarf für die Herstellung, Konstruktion, den Betrieb und den Rückbau
- Maximaler Einsatz nachwachsender, wiederverwendbarer oder -verwertbarer Baustoffe und Bauprodukte
- Einsatz schadstofffreier Baustoffe und Bauprodukte
- Lange Lebensdauer von Baustoffen, Bauprodukten und Baukonstruktionen
- Gefahrlose und vollständige Rückführung der Baustoffe in den natürlichen Stoffkreislauf
- Schonung von Naturräumen und Nutzung von Möglichkeiten zu flächensparendem Bauen über die gesamte Prozesskette

Durch eine frühzeitige Berücksichtigung dieser Ziele kann sowohl die Umsetzung energieeffizienter und nachhaltiger Gebäude gesichert, als auch die Gesamtwirtschaftlichkeit von Gebäuden hinsichtlich der Bau-, Betriebs-, Rückbau-, Umwelt- und Gesundheitskosten erheblich verbessert werden.

Auch wenn sich diese Vorteile besonders gut im Zusammenhang mit Neubauten darstellen lassen, bei denen von Anfang an auf der Basis entsprechender Zielvorstellungen an der Planung und Umsetzung energie- und materialeffizienter Gebäude gearbeitet werden kann, so bietet BIM auch für den Gebäudebestand ein vergleichbares Anwendungs- und Optimierungspotential.

Dies kann besonders dann entsprechend erschlossen werden, wenn analog zum Neubau bei Sanierungs- bzw. Umbaumaßnahmen der vorhandene Baubestand entsprechend digital mittels BIM möglichst vollständig erfasst und allen Beteiligten als Arbeitsgrundlage zur Verfügung gestellt wird. So lassen sich im Zuge geplanter Sanierungs- bzw. Umbaumaßnahmen die genannten Potenziale sowohl für die Planung als auch den Bau, Betrieb und ggf. für spätere bauliche Eingriffe sowie den Rückbau bzw. das Recycling ausschöpfen.

7.2 Vorteile der BIM-Datengrundlage

Durch die vollständige Erfassung der dreidimensionalen Geometrie der Bauteile sowie der entsprechenden, bauteilbezogenen Zusatzinformationen, wie z. B. den materialtechnischen, und umweltbezogenen Eigenschaften, können wesentliche Eigenschaften des Gebäudes von Anfang an analysiert und im Rahmen des Planungsprozesses optimiert werden. So lassen sich die energetischen Eigenschaften der Gebäudehülle und das thermische Verhalten der Baukonstruktion von Anfang an aufeinander abstimmen. Auf diese Weise kann z. B. das thermische Speichervermögen der Gebäudekonstruktion dazu genutzt werden, die im Tages- und Jahreszeitenverlauf variierenden Energie-

einträge und -verluste zumindest teilweise auszugleichen, wodurch die Behaglichkeit erhöht und der Energiebedarf reduziert werden kann.

Zudem erlaubt die frühzeitige Definition und Kommunikation der Bauteileigenschaften an die Fachplaner die gemeinsame Entwicklung einer auf den Nutzer sowie die Baukonstruktion und Gebäudehülle abgestimmten, energieeffizienten und intelligenten Gebäudetechnik. Dies geschieht vor allem auf der Basis der im Building Information Model enthaltenen Informationen, die für den Einsatz entsprechender, digitaler Simulationswerkzeuge im Planungsprozess notwendig sind.

Neben dem großen Potenzial für die Optimierung des Betriebsenergiebedarfs spielt das Building Information Model auch im Hinblick auf die Erfassung des im gesamten Lebenszyklus entstehenden Energiebedarfs bzw. CO₂-Ausstoßes eine entscheidende Rolle. Berücksichtigt werden hierbei neben dem Betrieb auch die Herstellung, der Transport, Einbau, Erhalt, Rückbau sowie die Entsorgung bzw. Verwertung von Baustoffen und Bauteilen.

Durch die fach- und gewerkeübergreifende Erfassung und Darstellung aller für den Energiehaushalt relevanten Bauteil- und Gebäudeeigenschaften entsteht die Möglichkeit, alternative Lösungsansätze bereits in frühen Planungsphasen zu entwickeln und zu bewerten. Das Planungsteam wird gemeinsam mit den Bauherren in die Lage versetzt, weitaus früher als bisher entsprechende Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich des kumulierten Energieaufwands bzw. Materialeinsatzes über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden auszuschöpfen.

7.3 BIM und die Kreislaufwirtschaft

Ein weiteres Potenzial der Anwendung eines Building Information Model liegt in der Unterstützung und Umsetzung geschlossener (Material-) Kreisläufe im Bauwesen. Während der bisherige Bauprozess nach wie vor größtenteils als lineare Abfolge der verschiedenen Lebensphasen, wie Gebäudeherstellung, -betrieb, -abbruch und -entsorgung angesehen wird, bietet das Building Information Model die Möglichkeit, durch die frühzeitige Definition und Dokumentation entsprechender Baustoffeigenschaften, wie z. B. Lebensdauer und Wiederverwertbarkeit, oder entsprechender Planungsstrategien, wie z. B. Design for Disassembly, den Rückbau und die Wiederverwertung von Bauteilen und Baustoffen bereits über eine entsprechende Baustoffwahl und Planung lösbarer Verbindungen sicher zu stellen.

Durch den Einsatz von BIM können u. a. auch neuartige, zukunftsorientierte Konzepte, wie z. B. „Cradle to Cradle“ (von der Wiege zur Wiege) unterstützt werden. Hierbei steht die möglichst vollständige Abfallvermeidung durch die Umsetzung geschlossener technischer Kreisläufe im Fokus. BIM ermöglicht durch die entsprechende Erfassung und Dokumentation der Eigenschaften der im Gebäude eingesetzten Materialien, Komponenten und Systeme eine entsprechende Bewertung der Recyclingfähigkeit der eingesetzten Materialien und Komponenten. So wird beispielsweise im Rahmen des derzeit laufenden EU-Forschungsvorhabens „Buildings as Material Banks“ (BAMB) BIM

dazu verwendet, eine dauerhafte Wiederverwendung bzw. Verwertung von Bauelementen sicher zu stellen. Gebäude werden bei diesem Ansatz nicht mehr nur im Hinblick auf Ihre Funktionalität bewertet, sondern auch im Hinblick auf die Wiederverwendbarkeit der im Gebäude verbauten Materialien. In diesem Zusammenhang wird im Rahmen des genannten Forschungsprojekts (BAMB) derzeit an der Erstellung entsprechender Material- und Produktdeklarationen, sogenannter "Material Passports" gearbeitet, welche die für das Recycling notwendigen Informationen enthalten.

8 Stand der Einführung, international und in Deutschland

Deutschland hinkt im Vergleich zu den internationalen Vorreitern hinterher

8.1 Stand der Einführung international

In vielen Ländern ist die Einführung der BIM-Methode bereits weit vorangeschritten. Als Vorreiter sind hier insbesondere Singapur, Finnland, Korea, 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 einnimmt.

In Singapur gibt es bereits seit 2004 die Pflicht, Bauunterlagen für öffentliche Bauvorhaben über die Internet-Plattform elektronisch einzureichen.³⁹ Dabei müssen digitale Bauwerksmodelle im Neutralformat IFC übergeben werden. Sie werden anschließend automatisiert auf die Einhaltung bestimmter Normen und Vorgaben, z. B. zum Brandschutz geprüft. Die Durchdringung der Bauwirtschaft in Singapur mit BIM-Methoden ist entsprechend weit fortgeschritten. Die BIM-Richtlinien der Building and Construction Authority sind 2013 bereits in der zweiten Version erschienen.⁴⁰

In Finnland wird seit 2007 für alle von der öffentlichen Hand in Auftrag gegebenen Bauvorhaben mit einem Volumen von über einer Million Euro die Bereitstellung eines digitalen Gebäudemodells vorgeschrieben. Inzwischen konnten umfangreiche Erfahrungen in der Abwicklung von BIM-Projekten gesammelt werden. Diese haben Eingang gefunden in die Richtlinienammlung „Common BIM Requirements“, die 2012 veröffentlicht wurde.⁴¹ Die finnischen Richtlinien setzen sehr stark auf offene Datenaustauschformate wie die IFC.

In den USA verlangen große staatliche Auftraggeber, wie die General Service Administration (GSA) und das US Army Corps of Engineers (USACE) ebenfalls bereits seit mehreren Jahren die Übergabe von BIM-Modellen.⁴² Die amerikanischen Gaststreitkräfte haben auch für ihre Neubauten in Deutschland mit der Einführung von BIM begonnen und die USACE BIM-Richtlinie für Deutschland erstellen lassen.⁴³ Aber auch von privaten Auftraggebern wird zunehmend eine BIM-gestützte Projektabwicklung

³⁹ *Khملani*, 2005

⁴⁰ *BCA*, 2013

⁴¹ *RTS*, 2012

⁴² *GSA*, 2007

⁴³ *Hausknecht et al.*, 2011

verlangt. Mit dem National BIM Standard wurde vom National Institute of Building Sciences (NIBS) ein Dokument veröffentlicht, das eine ganze Reihe von Standards zu BIM bündelt, u. a. zu den Datenformaten IFC und COBie, aber auch zur formalen Spezifikation von Datenaustauschprozessen.⁴⁴ Darüber hinaus gibt es in den USA BIM-Richtlinien bis zu den unteren staatlichen Verwaltungsebenen - als Beispiel seien die BIM-Richtlinien von New York City genannt.⁴⁵ Eine wichtige Rolle bei der praktischen Umsetzung von BIM nimmt das American Institute of Architects (AIA) ein. Es stellt beispielsweise Vorlagen für vertragliche Vereinbarungen in BIM-Projekten zur Verfügung und hat insbesondere detaillierte Spezifikationen zur Beschreibung des Ausarbeitungsgrades (Level of Development) eines Modells verabschiedet.⁴⁶

Besonders bemerkenswert ist die BIM-Strategie der britischen Regierung, die 2007 ins Leben gerufen wurde und deren erklärtes Ziel es ist, die britische Bauindustrie mit der breiten Einführung von BIM auf ein neues technologisches Niveau zu heben, sodass ihr Wettbewerbsvorteile auf dem internationalen Markt erwachsen. Seit April 2016 ist BIM Level 2 für alle öffentlichen Bauvorhaben verbindlich vorgeschrieben. Zur Umsetzung dieses ambitionierten Ziels wurde eine BIM Task Group eingesetzt, die in umfassender Weise die Erarbeitung der notwendigen Richtlinien und Standards koordiniert hat.⁴⁷

Eines der Schlüsseldokumente ist die von der British Standards Institution (BSI) herausgegebene öffentlich verfügbare Spezifikation (Publicly Available Specification) PAS 1192-2 „Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling“.⁴⁸ Darin werden die grundlegenden Abläufe eines BIM-Projekts festgelegt und insbesondere sogenannte Data Drops spezifiziert, bei denen zu bestimmten Zeitpunkten Projektdaten an den Bauherrn übergeben werden. Die PAS bleibt dabei auf einem weitgehend generischen Niveau und überlässt Details der Modellinhalte und Ausarbeitungsgrade dem zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu vereinbarenden BIM Execution Plan (BEP). Vorlagen für entsprechende vertragliche Vereinbarungen wurden vom Construction Industry Council (CIC) und vom AEC UK Konsortium erarbeitet und online zur Verfügung gestellt.⁴⁹ Zudem wurde eine National BIM Library aufgebaut, die eine große Zahl von BIM-Objekten unterschiedlichster Hersteller mit standardisierten Eigenschaftslisten für die Nutzung in BIM-Entwurfswerkzeugen bereitstellt.⁵⁰

⁴⁴ NIBS, 2012

⁴⁵ NYC DDC, 2012

⁴⁶ AIA, 2013

⁴⁷ BIM Task Group, 2011

⁴⁸ BSI, 2013

⁴⁹ CIC, 2013; AEC UK, 2012b

⁵⁰ NBS, 2014

Viele weitere europäische Länder haben Initiativen zur Umsetzung von BIM im Bausektor auf den Weg gebracht. In einigen ist die BIM-Methode für öffentliche Bauvorhaben bereits verbindlich vorgeschrieben oder dies ist für die nächsten Jahre vorgesehen. Dazu zählen insbesondere Schweden,⁵¹ Norwegen⁵² und die Niederlande.⁵³ In Frankreich wurde im September 2014 die „Mission numérique du bâtiment“ ins Leben gerufen mit dem Ziel, BIM-Methoden flächendeckend einzuführen.⁵⁴ Auch in Österreich wurde mit der Ausarbeitung von BIM-Normen begonnen.⁵⁵

Eine wichtige Voraussetzung für verbindliche Vorschriften zur Verwendung von BIM ist die Vereinbarkeit mit dem EU-Recht. Hierfür wurde 2014 die EU-Beschaffungsrichtlinie so angepasst, dass sie den öffentlichen Bauherren ausdrücklich erlaubt, digitale Formate für die Übergabe zu fordern:⁵⁶ „For public works contracts and design contests, Member States may require the use of specific electronic tools, such as building information, electronic modeling tools or similar“. Gleichzeitig hat 2014 die Normierungsarbeit auf europäischer Ebene im Rahmen des technischen Komitees 442 des Centre Européen de Normalisation (CEN) begonnen. Dabei werden im ersten Schritt die internationalen Normen ISO 16739 (Industry Foundation Classes) und ISO 29481 (Information Delivery Manual) als europäische Normen adaptiert. Diese müssen dann verpflichtend in nationale Normen der Mitgliedsländer überführt werden. Ein Beispiel hierfür ist die EN 16739, die kurz vor der Veröffentlichung als DIN 16739 steht.

8.2 Stand der Einführung in Deutschland

Im Vergleich mit anderen europäischen Ländern liegt die Verbreitung von BIM in Deutschland zurück. Zwar gibt es eine Reihe von innovativen Unternehmen, die BIM bereits erfolgreich einsetzen, ein flächendeckender Einsatz steht jedoch noch aus. Laut einer Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation nutzen aktuell nur 29 Prozent der Akteure der deutschen Baubranche BIM, 10 Prozent planen dies für die nahe Zukunft. 4D-BIM mit der Zeit als zusätzliche Planungsdimension wird nur von 6 Prozent genutzt, bei 7 Prozent ist dies geplant.⁵⁷

Eine Besonderheit der deutschen Bauwirtschaft und eine große Herausforderung bei der Einführung von BIM ist die starke Fragmentierung und die große Anzahl von kleinen und mittelständischen Unternehmen, sowohl in den planenden Berufen als auch bei den Bauunternehmen und den Zulieferern. Die Struktur im deutschen Hauptgewer-

⁵¹ *BIM Alliance*, 2015

⁵² *Staatsbyg*, 2013

⁵³ *Rgd*, 2013

⁵⁴ *Territoires*, 2014

⁵⁵ *AS*, 2015

⁵⁶ *European Parliament*, 2014

⁵⁷ *Roland Berger*, 2016b

be umfasste 2014 0,2 Prozent Großunternehmen, 1,4 Prozent mittlere Unternehmen, 7,8 Prozent kleinere Unternehmen und 90,5 Prozent Kleinunternehmen nach dem jährlichen Umsatz kategorisiert.⁵⁸ Rund 85 Prozent des Umsatzes werden durch KMUs erwirtschaftet, die über 91 Prozent der tätigen Personen beschäftigen.⁵⁹ Im Bereich der Architektur ist eine ähnliche Struktur vorhanden. Der überwiegende Teil (79 Prozent) bestehen aus kleinen Unternehmen mit weniger als fünf tätigen Personen. (Mit-) Inhaber mittelgroßer Büros mit fünf bis neun tätigen Personen machen 13 Prozent aus. 8 Prozent sind (Mit-) Inhaber großer Büros mit 10 und mehr tätigen Personen.⁶⁰ Infolge dieser kleinteiligen Struktur werden die Prozessketten sehr stark aufgespalten, wodurch Effizienzgewinne im Gesamtprozess, die mit BIM erschlossen werden, den wertschöpfenden Einzelunternehmen nicht zugutekommen. Da stattdessen von der Einführung von BIM vor allem diejenigen Unternehmen profitieren, die einen weiten Bereich der Wertschöpfungskette abdecken, führt die starke Fragmentierung dazu, dass die branchenweite Einführung von BIM gebremst wird und insbesondere die Bauherren diese vorantreiben müssen.

Noch fehlt es in Deutschland an dringend benötigten Vorgaben und Richtlinien für die Abwicklung von BIM-Projekten. In den vergangenen Jahren gab es aber intensive Aktivitäten, um die BIM-Einführung voranzutreiben. Im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) wurde bereits 2013 der BIM-Leitfaden für Deutschland ausgearbeitet.⁶¹ Der Leitfaden definiert die notwendigen Begrifflichkeiten, gibt einen Überblick über den Stand der Einführung von BIM im In- und Ausland und beantwortet grundsätzliche Fragen zum Datenaustausch und zur Organisation der modellgestützten Zusammenarbeit.

Ebenfalls im Auftrag des BBSR wurde ein Maßnahmenkatalog zur Nutzung von BIM in der öffentlichen Bauverwaltung erarbeitet.⁶² Wichtigstes Ergebnis dieser Studie ist „dass die Einführung von BIM nicht an zwingenden Rechtsnormen scheitert. Speziell das gesetzliche Preisrecht der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) schließt die Umsetzung und Nutzung von BIM in der öffentlichen Bauverwaltung nicht aus, sondern erlaubt schon heute die Arbeit nach dieser Methodik.“

Die Verfasser schreiben weiter: „Fraglos sind aber Anpassungen bei der Ausschreibungsmethodik und den Ausschreibungsunterlagen, den Leistungsbildern einzelner Formularverträge sowie den Schnittstellenbeschreibungen vorzunehmen. Gegebenenfalls ist auch die Hinzuziehung einer BIM-Richtlinie und spezieller BIM-BVB (Besondere Vertragsbedingungen) erforderlich. In diesen zusätzlichen Regularien sind Handlungsprogramme für die Beteiligten, Abgrenzungen von Verantwortlichkeiten und die

⁵⁸ HDB, 2014

⁵⁹ Destatis, 2014

⁶⁰ BAK, 2016

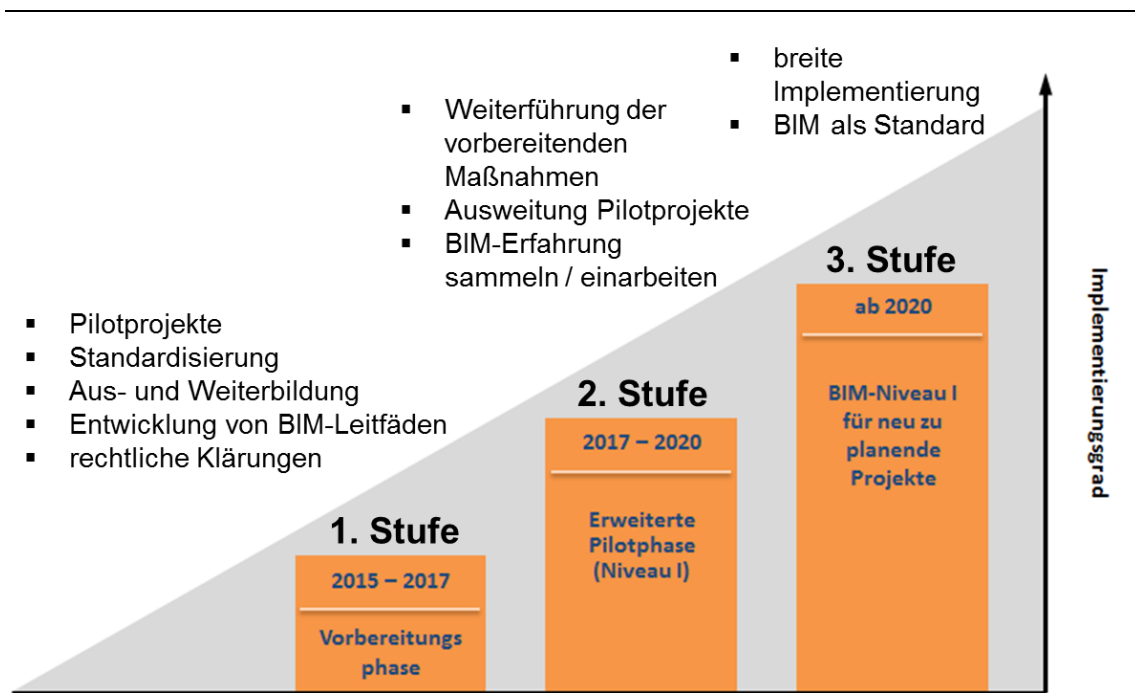
⁶¹ Egger et al., 2013

⁶² Eschenbruch et al., 2014

Organisation der Planungsabwicklung mit der BIM-Methode niederzulegen.“ Die ersten Schritte zur Umsetzung dieser Forderungen werden derzeit im Auftrag des Bundes realisiert.

Abbildung 12

Stufenplan des BMVI



Quelle: BMVI, 2015b

Die Reformkommission zum Bau von Großprojekten, die im Auftrag der Bundesregierung Vorschläge für eine zuverlässigere Abwicklung von großen Bauvorhaben erarbeitet hat, hat in ihrem 2015 erschienenen Abschlussbericht u. a. die Nutzung von BIM empfohlen, um zukünftig Großprojekte im Zeit- und Kostenrahmen realisieren zu können.⁶³ Dieser Sichtweise hat sich der Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur angeschlossen und im Dezember 2015 den BIM-Stufenplan bekanntgegeben, der die verbindliche Einführung von BIM für alle öffentlichen Bauvorhaben im Einflussbereich des BMVI bis zum Jahr 2020 zum Ziel hat.⁶⁴ Der Plan definiert drei Stufen, in denen schrittweise die Komplexität von Pilotprojekten erhöht und kontinuierlich Standards und Richtlinien entwickelt und verabschiedet werden (Abbildung 12).

⁶³ BMVI, 2015a

⁶⁴ BMVI, 2015b

Die Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 wurde 2016 vom BMVI mit der Umsetzung des Stufenplans und dabei insbesondere mit der detaillierten Ausarbeitung des Zielszenarios, der Begleitung der Pilotvorhaben, der Ausarbeitung von Vorlagen und Handreichungen sowie der Definition der rechtlichen Rahmenbedingungen beauftragt.

Bereits 2014 wurden vom BMVI die ersten BIM-Pilotprojekte im Straßen- und Schienenbau initiiert. Im Rahmen dieser Pilotprojekte wurden einzelne Anwendungsfälle aus der BIM-Methodik erprobt, eine ganzheitliche Umsetzung hat jedoch noch nicht stattgefunden. Häufig wurde parallel oder nachgelagert zur konventionell durchgeführten Planung ein BIM-Modell erstellt und für verschiedene Analysen verwendet.⁶⁵ Ende 2016 wurde die Zahl der Pilotvorhaben im Straßen- und Schienenbau bundesweit noch einmal deutlich erhöht – nun mit dem Anspruch einer durchgängigen BIM-Nutzung.

Anfang 2015 wurde auf Initiative des BMVI zudem die Planen-Bauen 4.0 GmbH gegründet, ein Zusammenschluss aller relevanten Verbände der Bauwirtschaft. Ihre Aufgabe ist es, die Digitalisierung im Bauwesen unter Einbeziehung aller betroffenen Akteure in einem breiten Konsens voranzutreiben.

Im Verein Deutscher Ingenieure (VDI) wurde 2014 das Gremium 2552 ins Leben gerufen, um Richtlinien für die Abwicklung von BIM-Projekten in Deutschland zu entwickeln. Die ersten verabschiedeten VDI-Blätter werden für das Jahr 2017 erwartet. Gleichzeitig wurden beim Deutschen Institut für Normung (DIN) sogenannte Spiegelgremien eingerichtet, um die bestehenden internationalen und zukünftigen europäischen Normen zu BIM in DIN-Normen zu überführen.

Für die Bauherren besonders wichtig ist die Integration von BIM-Methoden in Planungswettbewerbe. Diese haben in Deutschland eine lange Tradition, um für anstehende konkrete Planungsaufgaben oder eine generelle Ideenfindung den optimalen Entwurf zu finden. Sie sind ein erprobtes Instrument zur Ermittlung guter Lösungen hinsichtlich Städtebau, Funktion, Ökonomie und Sozialverträglichkeit für ein bestimmtes Projekt und damit für eine nachhaltige und gesellschaftlich relevante Baukultur. Die Anwendung der BIM-Methodik bei Architekturwettbewerben ist derzeit wenig systematisiert, obwohl vereinzelt Wettbewerbe ausgeschrieben werden, die BIM-Modelle fordern. Wettbewerbe mit BIM-Anforderungen sind bislang ausnahmslos im Ausland zu finden. Beispiele hierfür sind das National Museum Oslo 2009/10 oder der Wettbewerb für das Felix-Platter-Spital in Basel.

⁶⁵ *Borrmann et al., 2016*

BIM in Bayern⁶⁶

Die modellbasierte Projektabwicklung in Bayern und Deutschland war lange Zeit lediglich für wenige, meist größere Unternehmen ein Thema. Mittlerweile hat die Beschäftigung mit BIM auch in Bayern deutlich an Breite gewonnen. Ein Anfang 2016 in Bayern gegründeter Arbeitskreis "Digitalisiertes Bauen" beim Bayerischen Bauindustrieverband hat sich binnen eines Jahres zu einem mehr als fünfzig Firmen umfassenden, bundesweiten Gremium zum Erfahrungsaustausch entwickelt und wächst rasch weiter. Auch die Regionalgruppe Bayern des branchenübergreifenden BuildingSmart e. V. gewinnt rasch an Zulauf. Die Erkenntnis, dass die Digitalisierung der Bau- und Immobilienwirtschaft einen umfassenden Wandel der Strukturen mit sich bringt, veranlasst - trotz immer noch vorherrschender Skepsis - die Mehrzahl jedenfalls der mittelständischen und größeren Betriebe, eigenes Know-how hierfür aufzubauen. Ablesbar ist dieser Umstand etwa an den IT-Investitionen der Bauindustrie: laut IT-Kostenstruktur-Benchmark des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie langen die IT-Kosten der deutschen Bauindustrie über Jahre hinweg stabil bei rund 0,6 Prozent der Bauleistung. In den Jahren 2015 und 2016 stiegen die IT-Kosten - getrieben durch die Einführung neuer digitaler Methoden - binnen zwei Jahren um ein Drittel und belaufen sich mittlerweile auf über 0,8 Prozent der Bauleistung.

In Bayern gibt es auf Seiten der öffentlichen Hand derzeit einige modellbasierte Projekte. Derzeit werden etwa zwei Brücken im Raum München mit „BIM“ gebaut. Zudem sind die Bauprojekte Bahnknoten Bamberg-Breitengüßbach und der Hauptbahnhof München zu nennen. Umfassend eingesetzt werden modellbasierte Projektplanungs- und abwicklungsverfahren bei privaten Bauherren, vorrangig im Gewerbebau, etwa bei Hotels oder technischen Immobilien wie Logistikzentren oder Parkhäusern. Das aktuell bedeutendste BIM-Projekt in Bayern dürfte der Siemens Campus in Erlangen sein, der von Max Bögl errichtet wird.

⁶⁶ Ansprechpartner: Dipl.-Geogr. Martin Schneider, Geschäftsstellenleiter Nord- und Ostbayern, Bayerischer Bauindustrieverband e.V.

9 Hemmnisse und Handlungsbedarf

BIM ist technologisch ausgereift, aber es gibt noch Hürden zu überwinden

Dank der Verfügbarkeit von modernen Softwarewerkzeugen steht der Umsetzung der BIM-Methode in der Planungspraxis aus technischer Sicht heute nichts mehr im Wege. Die starke Fragmentierung der Prozesskette Bauen in einzelne Phasen (Entwurfsplanung, Ausführungsplanung, Ausführung, Bewirtschaftung), die jeweils von unterschiedlichen Unternehmen realisiert werden, führt jedoch dazu, dass der Eigenantrieb der Branche zur Einführung von BIM gering ausgeprägt ist, da die Effizienzgewinne in einzelnen Phasen nicht ausreichen, um die notwendigen Investitionen zu rechtfertigen. In der Folge muss der Bauherr den Einsatz von BIM fordern, steuern und unterstützen, um die phasenübergreifende Erhöhung der Qualität des Bauvorhabens im Sinne von Termin- und Kostensicherheit zu realisieren, von der er selbst am meisten profitiert.

Hierbei nimmt wiederum die öffentliche Hand eine herausgehobene Stellung ein, da sie den mit Abstand größten Bauherrn darstellt, und Vorgaben der öffentlichen Vorhabenträger Signalwirkung für die gesamte Branche haben. Dies hat insbesondere die BIM-Einführung in Großbritannien gezeigt, die von staatlicher Seite erfolgreich initiiert und umgesetzt wurde, und in deren Ergebnis seit April 2016 alle öffentlichen Bauvorhaben zwingend BIM-gestützt realisiert werden müssen.

Daneben ist BIM vor allem in den Ländern sehr weit vorangeschritten, in denen Totalübernehmer-Strukturen vorherrschend sind. Hier haben große Bauunternehmen einschließlich der integrierten Planungsabteilungen aus Eigeninteresse zügig und umfassend die BIM-Methode eingeführt, um von der Effizienzsteigerung zu profitieren.

Während unternehmensinterne Prozesse jedoch keiner weiteren Regulierung unterliegen und eine Umstellung vergleichsweise einfach erfolgen kann, ist bei der unternehmensübergreifenden Nutzung von BIM die Schaffung von rechtlichen und normativen Rahmenbedingungen unabdingbar. In diesem Zusammenhang ist wiederum die britische BIM-Initiative zu nennen, in deren Rahmen in umfassender Weise BIM-Normen und Richtlinien erarbeitet wurden. Die dort erarbeiteten Vorgehensweisen haben starken internationalen Einfluss u. a. auf die ISO-Standardisierung und damit auch auf die BIM-Einführung in Deutschland.

Die jüngsten Entwicklungen, insbesondere der BIM-Stufenplan des BMVI und der BIM-Erlass des BMUB lassen eine umfassende Einführung von BIM in Deutschland für die nahe Zukunft erwarten. Auf dem Weg dahin sind jedoch noch einige Herausforderungen zu meistern.

Es bestehen Hemmnisse und entsprechender Handlungsbedarf in verschiedenen Feldern. Der Gesetzgeber, die Kammern und die Verbände sind an folgenden Stellen gefordert:

- Als eines der größten Hemmnisse bei der Einführung der BIM-Technologie wird die derzeit geltende Fassung der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) gesehen. Die strikte Unterteilung in Leistungsphasen und die damit verbundene Aufteilung der Vergütung macht das frühzeitige Erstellen eines umfassenden digitalen Modells zurzeit wenig attraktiv für die Planenden. Für einen flächendeckenden Einsatz der BIM-Technologie sind daher entsprechende Anpassungen notwendig.⁶⁷
- Für eine erfolgreiche Abwicklung von BIM-Projekten ist eine detaillierte Festlegung der Arbeitsabläufe und Verantwortlichkeiten erforderlich, insbesondere hinsichtlich der zu liefernden Modellinhalte und Modellqualitäten. Eine nationale BIM-Richtlinie bildet in der Regel die Basis derartiger Festlegungen und berücksichtigt dabei die nationale Gesetzgebung und Vergütungsregelungen. Entsprechende Arbeiten wurden im Rahmen der VDI-Richtlinie 2552 begonnen, müssen nun aber zügig abgeschlossen und auf ihre Praxistauglichkeit überprüft werden.
- Die bayerische Bauwirtschaft muss sich in ihrer gesamten Breite noch stärker in die aktuellen Standardisierungsaktivitäten bei VDI und DIN einbringen, da hier die Weichen für die Zukunft gestellt werden.
- Es gilt dringend, standardisierte Vorlagen für Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungspläne (BAP) zu schaffen, um damit eine einheitliche Herangehensweise in unterschiedlichen Bauprojekten zu gewährleisten. Ein wesentlicher Bestandteil muss die eindeutige Spezifikation von Modellinhalten zu festgelegten Projektmeilensteinen sein. Es ist darauf zu achten, dass für die Datenübergabe ausschließlich herstellerneutrale Schnittstellen eingesetzt werden.
- Durch die Etablierung BIM-basierter Wettbewerbsverfahren kann ein wesentlicher Beitrag zur Planungssicherheit und nicht zuletzt zur Kostensicherheit für öffentliche und private Auslober geleistet sowie im Zusammenhang mit Bürgerbeteiligungen besser kommuniziert werden. Dies erfordert, die verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen der Wettbewerbsordnungen an die Spezifika der Methodik BIM anzupassen sowie die Konzeption und Entwicklung von Plattformen für BIM-gestützte Wettbewerbsverfahren voranzutreiben, die beispielsweise Fragen des Datenschutzes und der Anonymisierung berücksichtigen. Hierbei ist eine enge Abstimmung mit den zuständigen Ministerien, den Bauverwaltungen von Bund und Ländern sowie den Architektenkammern der Länder und der Softwareindustrie notwendig.
- Die Auftraggeber des Hochbaus, insbesondere der öffentlichen Hand, müssen aktiviert werden. Sie müssen den Einsatz von Building Information Modeling fordern und fördern. Dabei darf dies auf keinen Fall bedeuten, dass die BIM-Einführung den

⁶⁷ Egger et al., 2013

Einsatz von Generalplanern oder gar Totalunternehmern zwingend erforderlich macht. Ansonsten würden vor allem die kleinen und mittleren Büros im Wettbewerb schlechter gestellt. Zudem muss vor allem für die Modellerstellung in frühen Phasen eine angemessene Vergütung sichergestellt werden muss. Hier kann der Staat die Entwicklung unterstützen, wenn er – gemeinsam mit seinen Auftragnehmern – auch aktiv die neu entstehenden Spielräume zur Automatisierung bei der Fertigung auf Baustellen wie zur stärkeren Nutzung von Vorfertigung vorantreibt.

- Die Digitalisierung bietet gerade KMUs in der Bauindustrie Chancen, ihre Produktivität zu steigern, Wettbewerbsvorteile zu erzielen und zusätzliche Dienstleistungsfelder zu erschließen. Es gibt derzeit nur wenige Pilotprojekte für die Umsetzung der BIM Methodik in kleinen und mittleren Unternehmen. Daher müssen auf Landesebene Pilotprojekte mit wissenschaftlicher Begleitung initiiert bzw. bestehende Programme wie „Digitalbonus.Bayern“ ausgebaut werden, um verlässliche Aussagen treffen zu können. Damit KMUs infolge der verbindlichen BIM-Nutzung nicht aus dem Markt verdrängt werden, müssen sie sich rechtzeitig auf den Technologieumstieg vorbereiten.
- Die Einrichtung von qualifizierten Aus- und Weiterbildungsangeboten ist eine essentielle Grundlage für die digitale Transformation, beispielsweise durch die Architekten- und Ingenieurkammern. An berufsorientierten Schulen muss die Thematik der Digitalisierung einen höheren Stellenwert erhalten und verpflichtend im Ausbildungsprogramm verankert werden. Dies umfasst sowohl notwendige theoretische Grundlagen wie auch praktische Fähigkeiten. Im Infrastrukturbau muss die Bauwirtschaft auf den vom BMVI geforderten verpflichtenden Einsatz von BIM ab 2020 vorbereitet werden.⁶⁸
- Die Unternehmen der Planungs- und Bauwirtschaft müssen sich aktiv auf die Einführung der BIM-Methodik vorbereiten. Dazu gehört die Schulung von Mitarbeitern ebenso, wie das Aneignen von Wissen und Erfahrungen durch Durchführen von internen Pilotprojekten, bei denen ggf. konventionelle Projekte parallel mit BIM durchgeführt werden.
- Öffentlichen Institutionen, wie Bauverwaltungen, müssen Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen anbieten, um einen angemessenen und fachlich kompetenten Personalbestand bereitstellen zu können. Die öffentlichen Bauverwaltungen müssen mit adäquater IT-Infrastruktur ausgestattet werden, insbesondere, wenn die Bauverwaltungen auch die spätere Betreiberfunktion übernehmen, so dass die Modelle in der Nutzungsphase fortgeschrieben werden können.

⁶⁸ BMVI, 2015b

- Öffentlichen und privaten Bauherren wird empfohlen, Bestandsobjekte mit der BIM-Methode abzubilden als Basis für Planungsvorhaben im Bestand und die Bewirtschaftungsphase. Für die Erfassung und Abbildung von privaten Bestandsobjekten mit der BIM-Methodik muss eine Förderung durch geeignete, marktwirtschaftliche und technologieoffene Anreizsysteme geschaffen werden.
- Die deutsche Bausoftwareindustrie muss durch die konsequente Umsetzung des OpenBIM-Ansatzes gestärkt und gefördert werden. Nur so kann ein fairer Wettbewerb gewährleistet und gefährliche Monopolstellungen vermieden werden. Staatliche Auftraggeber sollten daher ausschließlich neutrale und standardisierte Schnittstellen für die Datenübergabe einsetzen. Zudem muss sich Deutschland auf internationaler Ebene bei der Ausarbeitung dieser Standards engagieren. Dabei ist zu beachten, dass auch jenseits der Plan- und Modelldaten die Abwicklung der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und der öffentlichen Verwaltung auf Basis durchgängiger strukturierter Daten wichtig ist. Für die Ersetzung zahlreicher bislang analoger Prozesse gibt es bereits digitale Alternativen. So könnten beispielsweise elektronische Rechnungen im ZUGFeRD-Standard akzeptiert oder IFC-Modelle im Zuge der Ausschreibung bereitgestellt werden.
- Für die einheitliche Umsetzung der BIM-Methodik ist der Aufbau und der Betrieb eines Merkmalservers erforderlich, der Bauteiltypen klassifiziert und ihnen für die jeweiligen Phasen eines Bauvorhabens Attribute zuweist, die von den Modellerstellern mit Werten zu belegen sind. Ein solcher Merkmalsserver müsste von Bund und Ländern finanziert und könnte beispielsweise vom DIN betrieben werden.
- Bei der Nutzung digitaler Technologien sind Fragen der Langzeitarchivierung besonders zu beachten. Die Erfahrung der Vergangenheit hat gezeigt, dass proprietäre Formate häufig nach wenigen Jahren und entsprechenden Versionsupdates nicht mehr lesbar waren. Dies ist vor allem in Hinblick auf die lange Lebenszeit von Bauwerken inakzeptabel. Die einzige tragbare Option bildet daher auch der Einsatz öffentlich dokumentierter, offener und standardisierter Datenformate wie dem IFC-Format. Zusätzlich muss für eine angemessene physische Speicherung gesorgt werden, die die persistente Sicherung der Daten über mehrere Jahrzehnte hinweg sicherstellt. Entsprechende Konzepte aus der Informatik sind bereits verfügbar und werden vielfach eingesetzt. Hierzu gehören beispielsweise mehrfach redundante Sicherungssysteme oder das regelmäßige Transferieren von Daten auf aktuelle Speichermedien.⁶⁹ Diese Maßnahmen müssen von den Bauherren jedoch konsequent eingesetzt werden.
- Die Vision des Digitalen Bauens (auch Bauen 4.0) beinhaltet neben der modellgestützten Planung mit BIM vor allem auch die Nutzung der entstehenden Daten für

⁶⁹ Neureuth et al., 2010

das Bauen selbst. Um das volle Potential der Digitalisierung des Bauwesens auszu-schöpfen gilt es daher, praxisnahe Grundlagenforschung u. a. in folgenden Berei-chen anzuschieben:

- BIM und Bürgerbeteiligung,
 - Digitale Baugenehmigung,
 - Open Data für öffentliche Bauvorhaben,
 - Integration von BIM und GIS (Geographische Informationssysteme)
 - Digitale Vorfertigung / 3D Printing,
 - Automatisierte Baufortschrittsüberwachung,
 - Internet of Things in der Gebäudetechnik / Smart Home,
 - Big Data im Bauwesen,⁷⁰
 - Robotik auf der Baustelle.
- Vor dem Hintergrund der zahlreichen Aufgabenfelder, die sowohl die öffentliche Hand als auch die Unternehmen des Bereichs Bauen und Planen betreffen, emp-fiehlt sich schließlich die Einrichtung eines bayerischen BIM-Kompetenzzentrums, das die vorhandene Expertise bündelt und als zentraler Ansprechpartner zu Verfü-gung steht.

Besonderheiten der bayerischen Bauwirtschaft im Hinblick auf Hemmnisse und Handlungsbedarfe bei BIM⁷¹

Es zeigt sich, dass der öffentlichen Hand eine herausgehobene Stellung zukommt. Sie stellt den mit Abstand größten Bauherren und die Vorgaben der öffentlichen Vorhaben-träger haben Signalwirkung für die gesamte Branche. Die Ausgangslage in dieser Hin-sicht wird in Bayern als sehr gut eingeschätzt. Mit der Obersten Baubehörde verfügt der Freistaat auch hinsichtlich der Digitalisierung oder zur Durchführung von Pilotpro-jekten über ein bundesweit einzigartiges Kompetenzzentrum. Auch hier ist zwar ange-sichts der großen Aufgaben der Ingenieur-Abbau der letzten Jahre umzudrehen. Aber immerhin ist – während bundesweit massive Probleme mit der Bauherrenkompetenz auf Seiten der Öffentlichen Hand unverkennbar sind – in Bayern dies jedenfalls kein Hindernis für die Bewältigung des Wandels. Die Durchführung von Digitalisierung-Pilotprojekten sowie – möglichst bald auch – die grundsätzliche Öffnung in Richtung modellbasierten Bauens dürfte daher in Bayern besser und schneller vonstattengehen als in den übrigen Bundesländern oder auf Bundesebene. Voraussetzungen dafür wur-den etwa bereits mit den Instrumentarien des Straßeninformationssystems BAYSIS bei der Bayerischen Straßenbauverwaltung gelegt.

⁷⁰ vgl. vbw, 2016

⁷¹ Ansprechpartner: Dipl.-Geogr. Martin Schneider, Geschäftsstellenleiter Nord- und Ostbayern, Bayeri-scher Bauindustrieverband e.V.

Für die in Bayern in der Bau- und Immobilienwirtschaft typischerweise stark mittelständisch geprägten Strukturen wird die Flankierung des laufenden Strukturwandels wichtig sein. Dies kann mit staatlichen Pilotprojekten einerseits erfolgen. Aber auch gezielte Fördermaßnahmen zum Aufbau neuer betrieblicher Strukturen und Investitionen können den Unternehmen bei der Bewältigung des tiefgreifenden Wandels helfen. Angesichts der Tatsache, dass die baunahen Fakultäten an den Bayerischen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften und bei der Technischen Universität München mit dem aktuellen Ansturm von Studenten vor allem im Bereich Bauingenieurwesen kaum noch Schritt halten können, ist an dieser Stelle ein Ausbau geboten.

10 Fazit

Die Digitalisierung des Bauwesens bietet enorme Chancen, die bislang nur zögerlich genutzt werden

Building Information Modeling (BIM) bezeichnet das Planen und Bauen auf der Basis von digitalen 3D-Modellen und bietet durch die durchgehende und konsistente Nutzung digitaler Informationen zahlreiche Vorteile. Dazu zählen u. a. die bessere Anbindbarkeit von Analyse und Simulationssystemen, bessere Möglichkeiten zur Koordination der Fachgewerke, die Verringerung von Planungsfehlern, eine höhere Genauigkeit bei der Mengenermittlung und damit einhergehend die Reduktion von Nachträgen. Damit lässt sich durch den Einsatz der BIM-Methodik die Effizienz der Planung steigern und gleichzeitig eine höhere Kostensicherheit bei der Ausführung erzielen. Daraus resultieren sowohl Vorteile für die beteiligten Planungsbüros und Bauunternehmen wie auch für die Auftraggeber und damit letztlich auch für die gesamte Volkswirtschaft. Aber auch für den einzelnen Bürger ist die BIM-Methode vorteilhaft: So profitiert er als „Endkunde“ von einer erhöhten Planungsqualität und die Einhaltung von Kosten- und Zeitrahmen. Im Zuge der Bürgerbeteiligung bei Großprojekten lassen sich Planungsvarianten mithilfe von 3D-Modellen viel besser nachvollziehen als mit herkömmlichen 2D-Zeichnungen.

Die verfügbaren Softwareprodukte sind technisch bereits weitgehend ausgereift, die Möglichkeiten werden jedoch in der Bauwirtschaft und von öffentlichen Institutionen noch nicht oder nur unzureichend genutzt. Hauptthemnisse sind in den bestehenden vertraglichen und honorarrechtlichen Randbedingungen sowie in den etablierten Prozessen, etwa in der Kommunikation zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer, zu sehen. Hier sind aber bereits wichtige Schritte eingeleitet worden. Insgesamt erfordert die Digitalisierung der Bauwirtschaft und die Ablösung der tradierten Arbeitsweisen ein engagiertes und aktives Vorgehen auf allen Seiten.

International ist die Einführung von BIM zum Teil schon sehr weit vorangeschritten. Besonders herausstechend ist die britische BIM-Initiative, die eine verbindliche Nutzung der BIM-Methodik seit April 2016 für alle öffentlichen Bauvorhaben vorschreibt und bereits in umfassender Weise BIM-Normen und Richtlinien erarbeitet hat. Demgegenüber liegt Deutschland noch zurück.

In Bayern setzen zwar einzelne besonders innovative Planungsbüros und Baufirmen BIM bereits erfolgreich ein. Die flächendeckende Einführung steht jedoch noch aus. Insbesondere sind die Ausarbeitung von BIM-Richtlinien, die Bereitstellung entsprechender Ausschreibungs- und Vertragsvorlagen und Anpassungen bei der Vergütung von Planungsleistungen erforderlich.

Der Einsatz innovativer Technologien bietet der Baubranche nicht nur die Möglichkeit effizienter zu werden und somit die Wettbewerbsfähigkeit im nationalen und internatio-

nen Kontext zu sichern, sondern eröffnet auch neue Geschäftsfelder und zusätzliche Wachstumsmöglichkeiten.

Building Information Modeling (BIM) ist von ausschlaggebender Bedeutung, um den Planungs- und Bauprozess energieeffizienter und nachhaltiger Gebäude zu unterstützen. Dies geschieht u. a. durch die zeitige, für die Erstellung eines Building Information Models (BIM) erforderliche, gemeinsame Festlegung entsprechender Eingabeparameter für die Geometrie sowie der technischen und umweltbezogenen Eigenschaften der entsprechenden Bauteile. Hierdurch lassen sich schon relativ früh im Planungsprozess alternative Lösungsansätze für die optimale Abstimmung von Gebäudehülle und Gebäudetechnik zum Erreichen eines maximalen Nutzerkomforts bei möglichst geringem Einsatz nicht-erneuerbarer Energien entwickeln. Auch hieraus resultieren wiederum Vorteile sowohl für eine nachhaltige Umwelt, als auch für den einzelnen Bürger als Endnutzer im Hinblick auf behagliche, gesunde und energieeffiziente Gebäude.

Zudem kann durch Building Information Modeling (BIM) die lebenszyklusbasierte, gesamtheitliche Beurteilung alternativer Lösungsmöglichkeiten auch im Hinblick auf die Umsetzung geschlossener Kreisläufe im Bauwesen genutzt werden. Durch die genaue Kenntnis der Eigenschaften der verwendeten Baustoffe, Bauteile und Verbindungsarten wird die Umnutzung und Anpassung bestehender Gebäude, sowie die Wiederverwendung und -verwertung von Baustoffen und Bauteilen nach Ablauf der Lebensdauer maßgeblich verbessert.

Die Dimension und die Herausforderungen der digitalen Transformation erfordern eine Zusammenarbeit und Zusammenführung von Kompetenzen auf verschiedenen Skalen. Für die erfolgreiche Implementierung und Gestaltung der Digitalisierung im Bauwesen bedarf es der Unterstützung und Zusammenarbeit auf verschiedenen gesellschaftlichen Ebenen: der Wirtschaft, öffentlicher Institutionen, den Bildungseinrichtungen und der Politik.

Durch die Etablierung BIM-basierter Wettbewerbsverfahren kann ein wesentlicher Beitrag zur Planungssicherheit und nicht zuletzt zur Kostensicherheit für öffentliche und private Auslober geleistet sowie im Zusammenhang mit Bürgerbeteiligungen besser kommuniziert werden.

Die Einführung von BIM bildet eine wichtige Basis für die nachfolgenden tiefergreifenden Formen der Digitalisierung des Bauwesens, bei der insbesondere Formen des automatisierten Bauens im Sinne der Industrie 4.0 im Fokus stehen werden. Hier ist allerdings noch Grundlagenforschung erforderlich, bevor die Technologie die Praxisreife erreicht.

Literaturverzeichnis

- AEC UK (2012a):** *AEC (UK) BIM Protocol - AEC (UK) CAD und BIM Standards*. Ohne Ort: Architectural, Engineering and Construction Industry in the UK (AEC UK), über: <https://aecuk.wordpress.com/documents/> (aufgerufen am 7.2.2017).
- AEC UK (2012b):** *AEC (UK) BIM Protocol - BIM Execution Plan V 2.0*. Ohne Ort: Architectural, Engineering and Construction Industry in the UK (AEC UK), über: <https://aecuk.wordpress.com/documents/> (aufgerufen am 7.2.2017).
- AS (2015)** *Building Information Modeling*. Wien: Austrian Standards (AS), über: <https://www.austrian-standards.at/infopedia-themencenter/infopedia-artikel/building-information-modeling-bim/> (aufgerufen am 7.2.2017).
- Autodesk (2003)** *Building Information Modeling*. San Rafael, CA: Autodesk, Inc, über: http://www.laiserin.com/features/bim/autodesk_bim.pdf (aufgerufen am 7.2.2017).
- BAK (2016)** *Analyse der Bürostruktur Ergebnisse der Befragung 2016*. Berlin: Bundesarchitektenkammer (BAK), über: <https://www.bak.de/architekten/wirtschaft-arbeitsmarkt/architektenbefragungen/buero-und-kostenstruktur> (aufgerufen am 26.01.2017).
- BBSR (2011)** *BBSR-Berichte KOMPAKT 12/11- Struktur der Bestandsinvestitionen*. Berlin: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), über: <http://www.bbsr.bund.de> (aufgerufen am 26.01.2017).
- BCA (2013)** *Singapore BIM Guide V2*. Singapur: Building and Construction Authority (BCA), über: https://www.corenet.gov.sg/integrated_submission/bim/BIM_Guide.htm (aufgerufen am 7.2.2017).
- BIC (2014)** *10,5 Milliarden € Fehlerkosten: Nichtwohnungsbau besonders anfällig*. Pressemitteilung. Düsseldorf: BauInfoConsult GmbH, über http://www.bauinfoconsult.de/presse/pressemitteilungen/2014/10_5_milliarden_n_fehlerkosten_nichtwohnungsbau_besonders_anfallig/2230 (aufgerufen am 31.3.2017).
- BIM Alliance (2015)** *BIM Alliance Sweden Website*. Stockholm: BIM Alliance, über: <http://www.bimalliance.se> (aufgerufen am 7.2.2017).
- BIM Task Group (2011)** *Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper, A report for the Government Construction Client Group*. London: HM Government, Department of Business, Innovation and Skills, über: <http://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2012/03/BIS-BIM-strategy-Report.pdf> (aufgerufen am 7.2.2017).
- BMUB (2016)** *Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

- BMVI (2014)** *Handbuch für eine gute Bürgerbeteiligung bei der Planung von Großvorhaben im Verkehrssektor.* Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), über: <http://www.bmvi.de/DE/Service/Publikationen> (aufgerufen am 7.2.2017).
- BMVI (2015a)** *Abschlussbericht der Reformkommission Bau von Großprojekten.* Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), über: <http://www.bmvi.de/DE/Service/Publikationen> (aufgerufen am 7.2.2017).
- BMVI (2015b)** *Stufenplan Digitales Planen und Bauen.* Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), über: <http://www.bmvi.de/DE/Service/Publikationen> (aufgerufen am 26.01.2017).
- Borrmann, André et al. (2015)** *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis.* Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Borrmann, André et al. (2016)** *Wissenschaftliche Begleitung der BMVI-Pilotprojekte zur Anwendung von Building Information Modeling im Infrastrukturbau.* Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, über: <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bim-zwischenbericht-forschungsbegleitung.html?nn=214524> (aufgerufen am 7.2.2017).
- BSI (2013)** *British Standards Institution: PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/ delivery phase of construction projects using building information modelling.* London: The British Standards Institution.
- Cabinet Office (2011)** *Government Construction Strategy.* London: HM Government, Cabinet Office, über: <https://www.gov.uk/government/publications/government-construction-strategy> (aufgerufen am 7.2.2017).
- CIC (2013)** *Building Information Model (BIM) Protocol - Standard Protocol for use in projects using Building Information Models.* London: Construction Industry Council, über: <http://www.bimtaskgroup.org/bim-protocol/> (aufgerufen am 7.2.2017).
- CIC (2014)** *Built Environment 2050 A Report on Our Digital Future.* London: Construction Industry Council.
- Destatis (2013)** *Gebäude und Wohnungen, Bundesrepublik Deutschland am 9. Mai 2011.* Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis), über: https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressekonferenzen/2013/Zensus2011/gwz_zensus2011.pdf?__blob=publicationFile (aufgerufen am 26.01.2017).
- Destatis (2014)** *Kleine und mittlere Unternehmen erzielen rund 85 % des Umsatzes im Bau- und Gastgewerbe.* Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis), über: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/UnternehmenHandwerk/KleineMittlereUnternehmenMittelstand/Aktuell.html> (aufgerufen am 26.01.2017).

- Eastman, Charles et al. (1974)** *An Outline of the Building Description System*. Institute of Physical Planning. Pittsburgh: Carnegie-Mellon University, über: <http://eric.ed.gov/?id=ED113833> (aufgerufen am 7.2.2017).
- Egger, Martin et al. (2013)** *BIM-Leitfaden für Deutschland. Abschlussbericht*. Berlin: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), über: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/3Rahmenbedingungen/2013/BIMLeitfaden/01_start.html (aufgerufen am 7.2.2017).
- Eschenbruch, Klaus et al. (2014)** *Maßnahmenkatalog zur Nutzung von BIM in der öffentlichen Bauverwaltung unter Berücksichtigung der rechtlichen und ordnungspolitischen Rahmenbedingungen, Gutachten zur BIM-Umsetzung*, Berlin: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), über: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/3Rahmenbedingungen/2014/BIMMassnahmenkatalog/01_start.html (aufgerufen am 7.2.2017).
- European Parliament (2010)** *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*, Brüssel: European Parliament.
- European Parliament (2014)** *Directive 2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on public procurement and repealing Directive 2004/18/EC*. Brüssel: European Parliament.
- Gallagher, Michael et al. (2004)** *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the US Capital Facilities Industry (NIST GCR 04-867)*. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.
- GSA (2007)** *GSA BIM Guide Series*. Washington, D.C.: General Service Administration, über: www.gsa.gov/bim (aufgerufen am 7.2.2017).
- Handelsblatt (2017)** *Die Baustelle wird smart, Daten, Drohnen, Software*. Über: <http://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/cebit2017/daten-drohnen-software-die-baustelle-wird-smart/19579782.html> (aufgerufen am 3.05.2017).
- Hausknecht, Kerstin und Liebich, Thomas (2016)** *BIM-Kompendium - Building Information Modeling als neue Planungsmethode*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- HDB (2014)** *Unternehmen und Umsätze im deutschen Hauptgewerbe 2014*. Berlin: Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, über: <http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/statistik-anschaulich/struktur/unternehmensstruktur> (aufgerufen am 26.01.2017).
- HDB (2015)** *Bauwirtschaft im Zahlenbild Ausgabe 2015*. Berlin: Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, über: http://www.bauindustrie.de/media/documents/BW_Zahlenbild_2015_final.pdf (aufgerufen am 27.01.2017).

- Heindorf, Viktoria (2010)** *Der Einsatz moderner Informationstechnologien in der Automobilindustrie*. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- IFB (2015)** *Analyse der Entwicklung der Bauschäden und der Bauschadenkosten*. Forschungsbericht_20150219, IFB – 14553 / 2015. Hannover: Institut für Bau-
forschung e.V.
- Ingenieur (2015)** *Australischer Roboter Hadrian mauert Haus in 48 Stunden. Fastbrick Robotics*. Über: <http://www.ingenieur.de/Branchen/Bauwirtschaft/Australischer-Roboter-Hadrian-mauert-Haus-in-48-Stunden> (aufgerufen am 3.05.2017).
- ISO (2013)** *ISO 16739:2013 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries*. Genf: International Organization for Standardization.
- Jernigan, Finith (2008)** *Big BIM little BIM: the practical approach to building information modeling: integrated practice done the right way!* Salisbury, MD: 4 Site Press.
- Khemlani, Lachmi (2005)** *CORENET e-PlanCheck: Singapore's Automated Code Checking System, AECbytes Website*. Über: <http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2005/CORENETePlanCheck> (aufgerufen am 7.2.2017).
- LfStat (2016)** *Bestand an Wohngebäuden in Bayern seit 1950*. München: Bayerisches Landesamt für Statistik, über: <https://www.statistik.bayern.de/statistik/bautaetigkeit> (aufgerufen am 26.01.2017).
- MacLeamy, Patrick (2004)** *Collaboration, integrated information and the project lifecycle in building design, construction and operation*. White Paper WP-1202, Cincinnati: The Construction Users Roundtable.
- Nagel, Reiner (2016)** *Baukultur Bericht (2016): Baukultur Bericht Stadt und Land 2016/17*. Potsdam: Bundesstiftung Baukultur, über: <http://www.bundesstiftung-baukultur.de/baukulturbericht-0> (aufgerufen am 27.01.2017).
- NBS (2014)** *NBS National BIM Library*. London: National Building Specification (NBS), über: <http://www.nationalbimlibrary.com/> (aufgerufen am 7.2.2017).
- Nederveen, Sander und Tolman, F. (1992)** *Modelling multiple views on buildings*. Automation in Construction, 1(3): 215–24.
- Neureuth, Heike et al. (2010)** *Eine kleine Enzyklopädie der digitalen Langzeitarchivierung*. Hülbusch: Nestor Handbuch.
- NIBS (2012)** *National BIM Standard United States Version 2*. Washington DC: National Institute of Building Sciences, über: <http://www.nationalbimstandard.org/> (aufgerufen am 7.2.2017).
- NYC DDC (2012)** *BIM Guide*. New York: New York City Department of Design and Construction. Über: <http://www.nyc.gov/html/ddc/html/pubs/publications.shtml> (aufgerufen am 7.2.2017).

- PennState (2011)** *BIM Project Execution Planning Guide V2.1*. Pennsylvania: The Computer Integrated Construction Research Group, Pennsylvania State University, über: <http://bim.psu.edu/Project/resources/default.aspx> (aufgerufen am 7.2.2017).
- PWC (2012)** *The 2012 industry digitization index*. Ohne Ort: PricewaterhouseCoopers (PWC), über: <http://www.strategyand.pwc.com/reports/2012-industry-digitization-index> (aufgerufen am 7.2.2017).
- Rgd (2013)** *Rgd BIM Standard*. The Hague: Rijksgebouwendients (Rgd), über: <http://www.rijksvastgoedbedrijf.nl/english/expertise-and-services/b/building-information-modelling-bim> (aufgerufen am 7.2.2017).
- Richards, Mervyn et al. (2013)** *Post Contract-Award Building Information Modelling (BIM) Execution Plan (BEP)*. Construction Project Information Committee, über: <http://www.cpic.org.uk/cpix/cpix-bim-execution-plan/> (aufgerufen am 7.2.2017).
- Roland Berger (2016a)** *Bauwirtschaft im Wandel, Trends und Potenziale bis 2020*. München: Roland Berger, über: https://www.rolandberger.com/de/press/Press-Release-Details_3474.html (aufgerufen am 27.01.2017).
- Roland Berger (2016b)** *THINK ACT Digitalisierung der Bauwirtschaft – Der europäische Weg zu „Construction 4.0*. München: Roland Berger, über: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_digitalisierung_bauwirtschaft_final.pdf (aufgerufen am 26.01.2017).
- RTS (2012)** *Common BIM Requirements 2012*. Helsinki: The Building Information Foundation (RTS), über: <http://www.en.buildingsmart.kotisivukone.com/3> (aufgerufen am 7.2.2017).
- Senate Properties (2007)** *Senate Properties' BIM Requirements*. Helsinki: Senate Properties.
- Staatsbygg (2013)** *BIM Manual V 1.2.1*. Oslo: Staatsbygg, über: <http://www.statsbygg.no/Files/publikasjoner/manualer/StatsbyggBIM-manual-ver1-2-1eng-2013-12-17.pdf> (aufgerufen am 7.2.2017).
- Statista (2016)** *Entwicklung des Bauvolumens in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2016*. Über: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167953/umfrage/bauvolumen-in-deutschland-seit-2008> (aufgerufen am 27.01.2017).
- Territoires (2014)** *La mission numerique du bâtiment*. Paris: Ministère du Logement, de l'Égalité des territoires et de la Ruralité, über: <http://mission-numerique-batiment.fr/> (aufgerufen am 7.2.2017).
- TU Dresden (2016)** *3D-Concrete–printing of continuous formwork free construction elements: A feasibility study*. Dresden: TU Dresden, über: https://tu-dre-den.de/bu/bauingenieurwesen/ifb/forschung/forschungsprojekte?fis_type=for

schungsprojekt&fis_id=15964 (aufgerufen am 3.05.2017).

vbw (2016)

Zukunft digital – Big Data. Analyse und Handlungsempfehlungen. München: Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (vbw), über: <https://www.vbw-bayern.de/vbw/Aktionsfelder/Innovation-F-T/Forschung-und-Technologie/Zukunft-digital-%E2%80%93-Big-Data.-Analyse-und-Handlungsempfehlungen.jsp> (aufgerufen am 7.2.2017).

VDI (2014)

Agenda Building Information Modeling – VDI-Richtlinien zur Zielerreichung. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, über: <http://www.vdi.de/technik/fachthemen/bauen-und-gebaeudetechnik/querschnittsthemen-der-vdi-gbg/koordinierungskreis-bim/> (aufgerufen am 7.2.2017).

Ansprechpartner / Impressum

Christine Völzow

Büroleiterin des Präsidenten und des Hauptgeschäftsführers

Telefon 089-551 78-104

Telefax 089-551 78-106

christine.voelzow@vbw-bayern.de

Impressum

Alle Angaben dieser Publikation beziehen sich grundsätzlich sowohl auf die weibliche als auch auf die männliche Form. Zur besseren Lesbarkeit wurde meist auf die zusätzliche Bezeichnung in weiblicher Form verzichtet.

Herausgeber

vbw

Vereinigung der Bayerischen
Wirtschaft e. V.

Max-Joseph-Straße 5
80333 München

www.vbw-bayern.de

Weitere Beteiligte

Prof. André Borrmann
Lehrstuhl für Computergestützte
Modellierung und Simulation
(TUM)

Prof. Werner Lang
Lehrstuhl für Energieeffizientes
und nachhaltiges Planen und
Bauen (TUM)

Prof. Frank Petzold
Lehrstuhl für Architekturinforma-
tik (TUM)