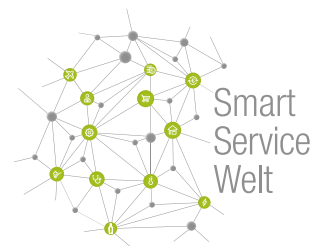


SMART DESIGN SMART CONSTRUCTION SMART OPERATION



Einsatz von digitalen Services in der Bauwirtschaft

SMART DESIGN SMART CONSTRUCTION SMART OPERATION

Einsatz von digitalen Services in der Bauwirtschaft

Eine Publikation der Verbundprojekte BIMcontracts, BIMSWARM, DigitalTWIN, SDaC der Technologieprogramme Smart Service Welt II, Smarte Datenwirtschaft und KI-Innovationswettbewerb gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

INHALT

1	Einleitung	6
2	Anwendungen digitaler Technologien.....	15
2.1	KI und die Rolle des Menschen im Bauwesen	15
2.2	Breitbandinfrastruktur auf der Baustelle.....	21
2.3	Einfache und flexible Integration digitaler Werkzeuge in Planung, Ausführung, Betrieb und Rückbau	28
2.4	XR-Technologien im Bauwesen	35
3	Plattformen	42
3.1	Plattformtechnologien zur Unterstützung der digitalen Transformation im Mittelstand	42
3.2	Marktplatz für die Bau-IT-Branche.....	48
3.3	Digitale Zahlungsabwicklung im Bauwesen mithilfe von Smart Contracts	54
4	Software	61
4.1	Toolchains – Kompatibilität zwischen Bau-IT-Produkten.....	61
4.2	Digitale Zertifizierung im Bauwesen.....	69
4.3	Software-Containertechnologien für die Datenanalyse vernetzter Gebäudesensoren	73
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	81

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages





1

Einleitung

1 EINLEITUNG

Aktueller Stand der Digitalisierung in der Bauwirtschaft

Die Bauwirtschaft ist gekennzeichnet durch das Zusammenwirken und -arbeiten von Unternehmen verschiedener handwerklicher und bautechnischer Expertise (Gewerke). Aktuell arbeiten diese bei der Planung, Fertigung und Konstruktion von Gebäuden häufig mit eigenen, aber untereinander inkompatiblen Softwarelösungen und Datenbeständen. Dadurch ergeben sich im Verlauf eines Projektes immer wieder unterschiedliche Informationsstände der Beteiligten, auch innerhalb eines Gewerkes. Dieses Problem ist in der Baubranche besonders ausgeprägt, da sich zum einen die am Bauvorhaben beteiligten Gewerke in der Regel nicht kennen und somit kein direkter Austausch möglich ist. Zum anderen müssen Informationen in einer längeren Kette weitergegeben werden, sodass hier Inkonsistenzen auftreten können. Der Informationsfluss ist dadurch oft stark eingeschränkt oder fehlerbehaftet. Zudem existiert keine fortlaufende, chronologische und ausführliche Dokumentation, anhand deren man den Verlauf der Prozesse und Änderungen nachvollziehen könnte. Im Fall von auftretenden Mängeln sind Haftungsfragen daher schwer zu klären, was nicht selten zu aufwendigen Rechtsprozessen führt.

Durch die Entwicklung einer neuen Arbeitsmethodik in den 1970er Jahren, dem Building Information Modeling (BIM), sollte diese Problematik verbessert werden. Mithilfe von BIM können 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 bereitgestellt werden. Dies beinhaltet sowohl die Entstehungsphase (Planung, Design, Fertigung, Konstruktion) als auch alle nachfolgenden infrastrukturellen Betriebsprozesse (Gebäude-, Wasser- und Energiemanagement). Das Konzept hierfür wurde zwar bereits vor mehreren Jahrzehnten entworfen, konnte aber erst deutlich später durch den Fortschritt in der Computertechnik und die Entwicklung entsprechender Softwarelösungen nutzbringend umgesetzt werden. Das 1987 veröffentlichte Softwareprogramm ArchiCAD galt durch die Möglichkeit, 2D- und 3D-Modelle zu erstellen, als erste BIM-Software für Personalcomputer. Um BIM effizient einsetzen zu können, ist neben der digitalen Datenerfassung und Darstellung jedoch auch der reibungslose Datenaustausch und die zeitnahe Kommunikation erforderlich. Erst ab ca. dem Jahr 2000 wurde BIM mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung des Internets ein konstanter Begriff in der Baubranche. Es wurden diverse BIM-basierte Softwarelösungen und Standards für den Datenaustausch entwickelt (COBie 2011, IFC 2013, BFC, ISO 19650 2019).

Trotz deren fortlaufender Weiterentwicklung bestehen bei der Digitalisierung der Bauwirtschaft zum aktuellen Zeitpunkt noch immer große Herausforderungen, von denen in dieser Publikation einige thematisiert werden.

Betrachtet man die auf dem Markt verfügbaren BIM-Softwarelösungen, handelt es sich oft um „geschlossene“ BIM-Produkte, bei denen alle gewerkspezifischen Softwaretools von einem Anbieter innerhalb eines umfangreichen Softwarepakets gestellt werden. Dadurch ist zwar die Interoperabilität zwischen Planung, Design und Konstruktion gegeben, allerdings nur unter der Voraussetzung, dass alle an einem Bauprojekt beteiligten Akteure die gleiche Software verwenden. Vor allem kleinere

Im Verlauf eines Bauprojekts ergeben sich aufgrund inkompatibler Softwarelösungen der einzelnen Gewerke und nicht vorhandener gemeinsam nutzbarer Datenbasis unterschiedliche Informationsstände, die zu Fehlern führen.

Unternehmen können sich jedoch nicht immer die teilweise hohen Kosten für die Lizenzgebühren leisten und müssten bei jedem Bauprojekt die passenden Softwarelösungen beschaffen bzw. aktualisieren. Anbieter von einzelnen Softwaretools für Planung, Abrechnung, Konstruktion etc. existieren zwar ebenfalls, jedoch sind die Schnittstellen nicht immer kompatibel, sodass bei der Datenweitergabe über Import und Export Fehler durch unterschiedliche Datenformate entstehen können. Um diese einzelnen Softwarelösungen trotzdem für BIM einsetzen zu können, müssen sie den oben genannten Standards für einen kompatiblen Datenaustausch entsprechen. Nur dann kann der Nutzer sicher sein, dass seine Daten von den anderen eingesetzten Tools fehlerfrei weiterverwendet werden können. Dieses Zusammenwirken einzelner BIM-kompatibler Lösungen wird unter dem Begriff „openBIM“ zusammengefasst. Diese BIM-Kompatibilität einer Software kann durch eine entsprechende Zertifizierung überprüft und bescheinigt werden.

Um sich auf dem Markt gegen große, geschlossene BIM-Produkte durchsetzen zu können, müssen Einzelsoftware-Anbieter nach dem Erwerb einer BIM-Zertifizierung mit dieser Qualifikation auch für potenzielle Kunden sichtbar werden. Für Anwender, die sich für eine openBIM-Lösung entscheiden, ist wichtig zu wissen, welche zertifizierten BIM-Produkte auf dem Markt existieren und somit problemlos miteinander kombinierbar sind.

Auf Baustellen existiert zudem meist noch keine feste Kommunikationsinfrastruktur (Festnetz, kabelgebundenes Internet, strukturierte Verkabelung), sodass eine hohe Abhängigkeit von der Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit des Mobilfunks besteht. Dies erschwert den Einsatz digitaler Kommunikations- und Kollaborationslösungen (z. B. Vernetzung von Geräten, Echtzeitübertragung von Baufortschritten). Bei der Entwicklung digitaler Lösungen steht die Branche daher neben der Realisierung der Anwendungstechnologien auch der Schaffung der dafür notwendigen Kommunikationsvoraussetzungen gegenüber. Neben der Notwendigkeit einer flächendeckenden Mobilfunkversorgung im Allgemeinen bietet insbesondere der neue 5G-Standard hierzu neue Möglichkeiten, die gerade für den Baubereich interessant sind.

Trotz des bereits hohen Mehrwerts durch BIM existiert in vielen Teilbereichen weiterhin Optimierungspotenzial, beispielsweise im Rechnungswesen. Neben komplexen und teilweise intransparenten Vertragsstrukturen erfolgt das Vertrags- und Zahlungsmanagement vorwiegend händisch und ist entsprechend ineffizient. Die Zeit von der Rechnungsstellung bis zum Zahlungseingang ist unverhältnismäßig lang, wodurch das Bauwesen eine der höchsten Insolvenzquoten aller Branchen aufweist. Zahlungsansprüche sind schwer zu verifizieren, da detaillierte Dokumentationen des Ist-Bauablaufs und der komplexen Interaktionen der einzelnen Vertragspartner fehlen (aufgrund der Komplexität werden Leistungen meist zu großen Zahlungsblöcken zusammengefasst).

Auf Baustellen existiert häufig keine feste Kommunikationsinfrastruktur, was den Einsatz digitaler Kommunikations- und Kollaborationslösungen erschwert.

Die Daten über den aktuellen Zustand eines Bauvorhabens, die innerhalb des Bauprozesses mithilfe von BIM erfasst werden können, enthalten auch wertvolle Informationen, die bisher noch nicht für smarte Anwendungen im Baurechnungswesen genutzt werden.

Als Softwareunterstützung für die Kalkulation von Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung (AVA) werden häufig einfache Tabellenkalkulations- oder sogenannte AVA-Programme verwendet. Mit

AVA-Software werden Leistungspositionen und Vordersätze einer Ausschreibung angelegt und strukturiert gegliedert. Die so erstellten Positionen lassen sich im Vergabeprozess mit den Angebotspreisen der verschiedenen Bieter versehen und in einem Preisspiegel gegenüberstellen. Im Vergleich zu einem Tabellenkalkulationsprogramm besteht hier der gravierende Vorteil, dass ein elektronischer Datentransfer zwischen Planer und Anbieter über die standardmäßig vorhandene GAEB-Schnittstelle (Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen) möglich ist.

Für die AVA-Prozesse in der modernen BIM-Arbeitsweise wurden sogenannte BIM 5D-Modelle entwickelt (3D: dreidimensionales Baumodell; 4D: plus zeitliche Informationen; 5D: plus Kosteninformationen). Hierbei werden Positionen des Leistungsverzeichnisses mit Mengen eines digitalen Bauwerksmodells verknüpft. Mit BIM 5D können Daten zu Leistungen, Mengen, Kosten, Zeiten, Materialien und Geräte mit dem 3D-Modell der Gebäudeplanung verbunden werden, sodass – wie in einer Datenbank – alle Informationen kontextbezogen abgerufen, gefiltert und sortiert werden können.

Soziale Aspekte der Digitalisierung in der Bauwirtschaft

Die Entwicklung des Building Information Modeling macht aktuell große Fortschritte. Die neuesten technologischen Entwicklungen ermöglichen Anwendungen in viele Richtungen, wie die Vernetzung mobiler Geräte, die Echtzeitübertragung des Baufortschritts, kollaboratives Arbeiten mit gemeinsamer Datenbasis, effizientere Prozesse sowie die Unterstützung durch Augmented und Virtual Reality (AR/VR). Mit dem technischen Fortschritt für die Bauwirtschaft sind jedoch auch Änderungen im sozialen Bereich verbunden. Die menschliche Rolle wird sich ändern und damit auch die qualitativen Anforderungen an die Fachleute. In diversen Branchen gehört die Mensch-Maschine-Kommunikation bereits zum Arbeitsalltag und digitale Anwendungen und Funktionen bestimmen einen wesentlichen Teil der Prozesse, insbesondere im produzierenden Gewerbe. In der Bauwirtschaft war das Gelingen bisher vorrangig von menschlicher Erfahrung und Branchenexpertise abhängig. Zukünftig wird dieses Wissen für die Anwendung neuer digitaler Technologien eventuell nicht mehr ausreichend sein, sodass in der Ausbildung ein stärkerer Fokus auf IT-Kenntnisse und -Fähigkeiten zu legen wäre. Mangelnde Erfahrung könnte dafür beispielsweise durch digitale Assistenten über AR/VR-Technologien kompensiert werden. Mit zunehmender Digitalisierung ist eine Änderung der menschlichen Rolle nicht auszuschließen. Auch diese Aspekte sollen in dieser Publikation betrachtet werden.

Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Digitalisierung in der Bauwirtschaft

Die Beiträge dieser Publikation wurden von Mitarbeitenden geförderter FuE-Projekte erstellt, die sich mit der Entwicklung neuer Technologien und Anwendungen in der Bauwirtschaft beschäftigen. Diese Projekte werden im Folgenden kurz vorgestellt:

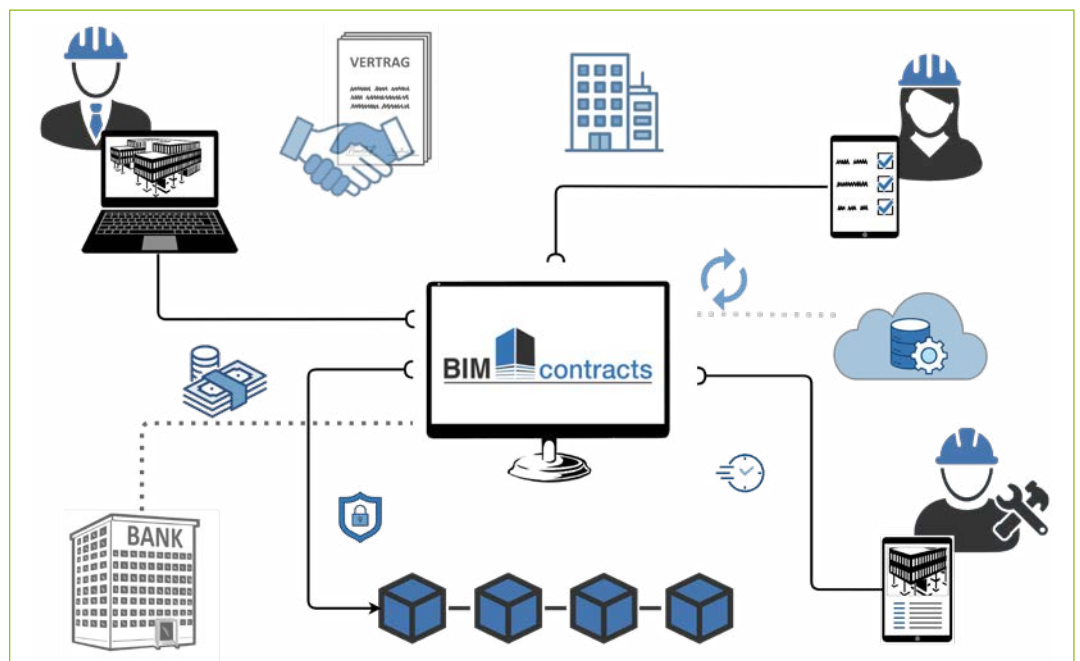
BIMcontracts



Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Verbundprojekt BIMcontracts entwickelt in einem Konsortium aus Wirtschaft und Forschung in einer dreijährigen Projektphase eine Referenzarchitektur unter Verwendung von digitalen Verträgen (sogenannten Smart Contracts) für ein automatisiertes und transparentes Vertrags- und Rechnungsmanagement in der Baubranche.

Durch den Einsatz der BIM-Methode in Verbindung mit der Blockchain-Technologie zur revisions-sicheren Dokumentation können Smart Contracts das Vertrags- und Rechnungsmanagement zur Abbildung vertraglicher Zahlungsverpflichtungen erheblich vereinfachen bzw. automatisieren und damit die Zahlungsvorgänge im Regelfall deutlich schneller abwickeln als bisher.

Mit BIMcontracts steht der Baubranche zukünftig eine hervorragende Möglichkeit zur Verfügung, Leistungsstände digital zu dokumentieren und daraus folgende Zahlungsansprüche automatisiert unmittelbar zu berechnen. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) werden von BIMcontracts in hohem Maße profitieren, weil mehr Effizienz und Transparenz beim Vertrags- und Rechnungsmanagement geschaffen, die Liquidität der Unternehmer deutlich verbessert und das Risiko einer unverschuldeten Insolvenz reduziert wird.



Quelle: BIMcontracts

TECHNOLOGIEPROGRAMM
LAUFZEIT
WEBSITE

Smarte Datenwirtschaft
August 2019 – Juli 2022
<https://www.bimcontracts.com>

BIMSWARM



Das Projekt BIMSWARM will eine durchgängig digitale Projektbearbeitung bei Planung, Ausführung und Betrieb von Bauwerken ermöglichen. Ohne durchgehende Digitalisierung steht künftig der Erfolg vieler Bauprojekte infrage. Die entscheidende Voraussetzung für den Einsatz von BIM ist jedoch, dass die Anforderungen an Daten, Prozesse und Schnittstellen eindeutig geklärt sind.

Im BIMSWARM-Projekt wird eine neutrale, marktübergreifende Plattform entwickelt, die technologische und methodische Unterstützung zur Digitalisierung in der Baubranche für die Marktteilnehmer bietet. Die herstellernerneutrale BIMSWARM-Plattform ist hierfür ein zentraler Hebel, denn unabhängige Softwareprodukte und offene Datenformate – getreu dem openBIM-Ansatz im Projekt – sind die Grundlage für eine erfolgreiche Zusammenarbeit und für effiziente BIM-Prozesse. Damit schafft BIMSWARM reibungslose digitale Arbeitsabläufe und wird so dazu beitragen, die Zukunftsfähigkeit und internationale Konkurrenzfähigkeit der deutschen Bauwirtschaft zu sichern.

Die Hauptnutzer von BIMSWARM sind Anbieter, Anwender und Zertifizierer von Bau-IT-Produkten. Die Plattform hilft den Marktteilnehmern, die passenden Bau-IT-Produkte für den gesamten Bauprozess – vom Planen übers Bauen bis zur Nutzung eines Gebäudes – zu finden. Dabei gewährleistet BIMSWARM durch eine unabhängige Zertifizierung basierend auf offenen Schnittstellen, dass die Bau-IT-Produkte untereinander kompatibel sind. Die Plattform soll für Anbieter von Bausoftware in Zukunft zu einem wichtigen Marketing- und Vertriebskanal werden.



Quelle: BIMSWARM

TECHNOLOGIEPROGRAMM	Smart Service Welt II
LAUFZEIT	April 2018–September 2021
WEBSITE	https://www.bimswarm.de

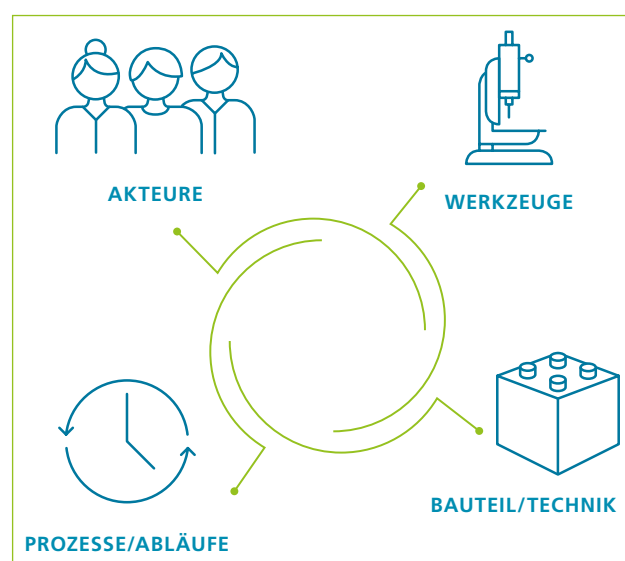
DigitalTWIN



DigitalTWIN steht für Digital Tools and Workflow Integration for Building Lifecycles. Die Partner vereinen Forschungs- und Anwendungsbezug, sind in der Planung und Ausführung tätig und bringen Schlüsseltechnologien aus der Baubranche, der Kommunikationstechnik sowie der Mess- und Automatisierungstechnik ein. Das Konsortium führt das erforderliche Fachwissen zusammen, um digitale Werkzeuge und Techniken anwenden zu können und um Dienste, Prozesse und Abläufe entlang der Wertschöpfungskette des Bauwesens zu vernetzen und zu automatisieren.

Die Forschungsfelder beziehen sich auf die Bereiche Planung, Interaktion, Kommunikation, Systemintegration, Vernetzung und Datensicherheit sowie auf die erforderliche Infrastruktur für Planung, Fertigung und Baustelle. Das Zusammenspiel von Prozessverständnis, Kommunikation, IT-Technologien und Automatisierung wird aufgezeigt und durch Beispiele an der Schnittstelle zwischen Building Information Modeling (BIM), Industrie 4.0 und erweiterter Realität (XR)-Anwendungen erlebbar. Im Forschungsprojekt wird ein modularer Ansatz eingesetzt, damit die individuelle firmeninterne IT-Systemlandschaft möglichst flexibel und sicher in Plattform-Cluster-Systeme eingebunden werden kann. Hierbei kommen Schlüsseltechnologien aus den Bereichen 5G-Mobilfunk, Multi-Access-Edge-Computing (MEC), Cloud-Computing, Virtualisierung sowie CAD/CAM, BIM und Datenanalyse zum Einsatz. Die Ergebnisse werden anhand mehrerer Demonstratoren und an einem Demonstrationsbauwerk getestet und evaluiert.

Aus dem Projekt ergeben sich exemplarische Anwendungsfälle für Planer, Fertigungsunternehmen und Dienstleister im Bauwesen, aber auch für kleine und mittelständisch geprägte Unternehmen anderer Branchen sowie Impulse für die internationale Standardisierung.



Quelle: Smart Service Welt II

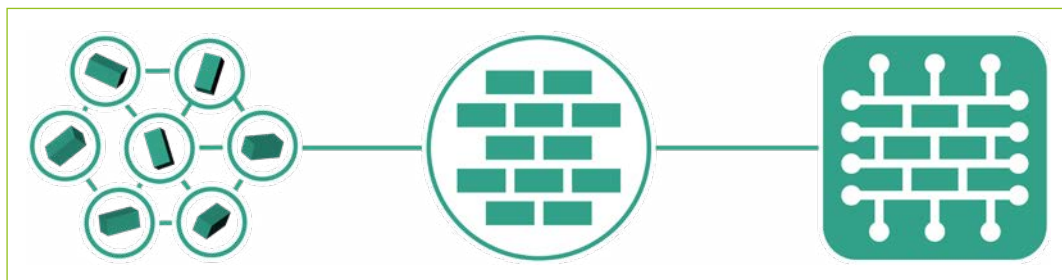
TECHNOLOGIEPROGRAMM
LAUFZEIT
WEBSITE

Smart Service Welt II
März 2018–August 2021
<https://d-twin.eu>

SDaC



Moderne Bauvorhaben sind komplex und aufwendig. Die hohe Fragmentierung der Bauwirtschaft führt zu Wissens- und Schnittstellenverlusten innerhalb der Wertschöpfungskette und zwischen Softwareprodukten. Um Planungs- und Produktionsprozesse zu optimieren und die fragmentierte Bauwirtschaft zusammenzuführen, entwickelt das Forschungsprojekt Smart Design and Construction (SDaC) eine digitale Plattform für die Vernetzung der gesamten Bauwirtschaft. Auf der SDaC-Plattform werden die Daten aller am Bauprozess beteiligten Unternehmen durch KI-Methoden (Künstliche Intelligenz) maschinell lesbar gemacht und zusammengeführt. Auf dieser aggregierten Grundlage entstehen neue KI-Anwendungen von der Bauwerksplanung bis zur Baurealisierung, die sich besonders an kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) der Bauwirtschaft richten. Dabei stehen insbesondere zwei Forschungsfelder im Fokus der Entwicklung: Methoden der Künstlichen Intelligenz zur Datenaufbereitung und -nutzung sowie das nutzerorientierte Design, welches den Anwender in den Mittelpunkt stellt. Hinter SDaC steht ein Netzwerk aus mehr als 40 Projektpartnern aus Wissenschaft und Praxis.



Quelle: SDaC

TECHNOLOGIEPROGRAMM

KI-Innovationswettbewerb

LAUFZEIT

April 2020–März 2023

WEBSITE

www.sdac.tech

Alle genannten Projekte werden vom BMWi über die aufgeführten unterschiedlichen Technologieprogramme gefördert. Weitere Informationen zu den Projekten finden sich auf den jeweils verlinkten Projekt-Websites.

Ziel der Publikation

Mit dieser Publikation sollen Fachleuten aus allen Bereichen der Bauwirtschaft sowie Softwareanbietern, KMU (auch Handwerk), Bauherren und dem interessierten Fachpublikum neue technische

**Neue Entwicklungen, technische
Lösungen und Perspektiven zeigen
Fachleuten aus der Baubranche
Möglichkeiten der Effizienzsteigerung
durch Digitalisierung auf.**

Möglichkeiten und Entwicklungen sowie der aktuelle Stand der Digitalisierung in der Baubranche aufgezeigt werden. Durch die Verbreitung dieses Wissens soll die Zielgruppen zur Nutzung digitaler Technologien motiviert und entsprechende Hemmnisse beseitigt werden. Insbesondere KMU können von openBIM und den neuen Entwicklungen profitieren, sowohl hinsichtlich Effizienz, Fehlervermeidung und Erhöhung von Auftragslage und Kundenzufriedenheit als auch bezogen auf die eigene Sichtbarkeit am Markt. Mit der zunehmenden Digitalisierung sind häufig Änderungen von

Arbeitsprozessen und die Notwendigkeit zur Aneignung neuer Fachkenntnisse verbunden. In der Publikation wird die aktuelle und zukünftige Rolle des Menschen im digitalen Wandel der Bauwirtschaft diskutiert, um auch hier Vorurteilen und Ängsten vorzubeugen und zur Nutzung und Verbreitung von digitalen Technologien zu motivieren.



2

**Anwendungen
digitaler Technologien**

2 ANWENDUNGEN DIGITALER TECHNOLOGIEN

2.1 KI und die Rolle des Menschen im Bauwesen

Benedikt Blumenstiehl (KIT), Diego Cisterna (KIT), Thomas Gorski (Airteam Aerial Intelligence GmbH), Shervin Haghsheeno (KIT), Patrick Hemmer (KIT), Svenja Oprach (KIT), Michael Vössing (KIT), Marc Weinmann (KIT), Jan Wolber (KIT)

Fragmentierung als eine zentrale Herausforderung der Bauwirtschaft

Die Baubranche ist heutzutage durch eine Vielzahl von Herausforderungen geprägt. Häufig ist der Mensch der einzige Wissensträger. Grund ist die technische und organisatorische Fragmentierung der Bauwirtschaft. Vor allem die große Anzahl genutzter Software-Systeme erschwert den Zugang zu Daten sowie deren Austausch und fördert die Heterogenität der Datenformate. Der Mensch muss dabei selbst Informationen aus den Systemen herauslesen und für andere Systeme aufbereiten. Eine weitere Herausforderung ist die hohe Fragmentierung der Organisationen in der Bauwirtschaft. Projekte werden in der Regel durch einen Zusammenschluss hochspezialisierter Organisationen durchgeführt, die häufig zeitlich begrenzt für einzelne Projekte zusammenkommen. Dies führt zu einer dezentralen sowie projektspezifischen Speicherung von Projektdaten. Der Mensch transferiert das gesammelte Wissen aus einzelnen Projekten in andere Projekte. Für externe und neue Projektmitglieder ist dieses Wissen meist nicht zugänglich. Die technische und organisatorische Fragmentierung führt zu einem hohen manuellen Aufwand und zu Wissensdefiziten. Da 90 Prozent aller Bauunternehmen weniger als zehn Mitarbeiter haben, ist zur Bewältigung der Aufgaben der Druck auf den Schultern des Einzelnen sehr hoch.

Im Vergleich dazu stehen im produzierenden Gewerbe – unterstützt durch steigende Rechenkapazitäten und eine hohe Anzahl zur Verfügung stehender Daten aus Maschinen – datengetriebene Methoden im Fokus. So zeigte das produzierende Gewerbe in Deutschland von 2006 bis 2016 einen Anstieg der Produktivität um 27,1 Prozent, während die Bauwirtschaft nur einen schwachen Anstieg von 4,1 Prozent aufwies. [1] Um auch in der Bauwirtschaft eine Produktivitätssteigerung zu unterstützen und den Einzelnen zu entlasten, müssen intelligente und zukunftsweisende Lösungen gefunden werden. Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) können dabei unterstützen, Daten organisationsübergreifend zu nutzen und einen verlustfreien Austausch zwischen verschiedenen Datenformaten zu ermöglichen. Dabei stellt sich die Frage, welche Rolle der Mensch im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung haben wird und ob einzelne Berufsbilder durch den Einsatz datengetriebener Anwendungen abgelöst werden. Im Folgenden werden Einsatzfelder und Potenziale von KI vorgestellt. Dabei wird ersichtlich, dass KI den Menschen unterstützt. Dies hat zur Folge, dass sich Berufsbilder nachhaltig verändern und neue Geschäftsmodelle entstehen werden.

**90 Prozent aller
Bauunternehmen
beschäftigen weniger
als zehn Mitarbeiter.**

Künstliche Intelligenz für die Bauwirtschaft

Als Künstliche Intelligenz (KI) bezeichnet man ein Forschungsgebiet innerhalb der Informatik, das sich mit der Entwicklung von intelligenten Maschinen und Computerprogrammen beschäftigt. Seit seinen Ursprüngen in den 1960er Jahren hat eine Vielzahl technischer Entwicklungen dazu geführt, dass die Ergebnisse dieses Forschungsgebietes heutzutage nicht mehr aus unserem Alltag wegzu-denken sind. Sie finden Anwendung beim autonomen Fahren, in der Medizin, aber auch in vielen Bereichen unseres täglichen Lebens.

Historisch wurden die Grundsteine hierfür 1936 vom britischen Mathematiker Alan Turing gelegt. Der Begriff Künstliche Intelligenz wurde allerdings erst im Rahmen einer wissenschaftlichen Konferenz am Dartmouth College im Jahre 1956 geprägt. Seither gilt diese Konferenz als die Geburtsstunde der KI als akademische Forschungsdisziplin. Rege Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit erlangte die Disziplin, als der Schachgroßmeister Garri Kasparow in einem Turnier 1997 vom Computer Deep Blue der Firma IBM bezwungen wurde. Beim Schach lässt sich die Anzahl aller möglichen Spielzüge berechnen. Daher galt das wesentlich komplexere Brettspiel Go, bei dem sich die Spieler eher auf ihren Instinkt verlassen müssen, als größere Herausforderung für KI-Programme. Das Potenzial, das dieser Forschungsdisziplin innewohnt, wurde 2016 deutlich, als das von Google DeepMind entwickelte Computerprogramm AlphaGo den weltbesten Go-Brettspieler Lee Sedol in einem atemberaubenden Match besiegte. Dieses Ereignis zählt schon heute als ein wichtiger Meilenstein in der KI-Entwicklung.

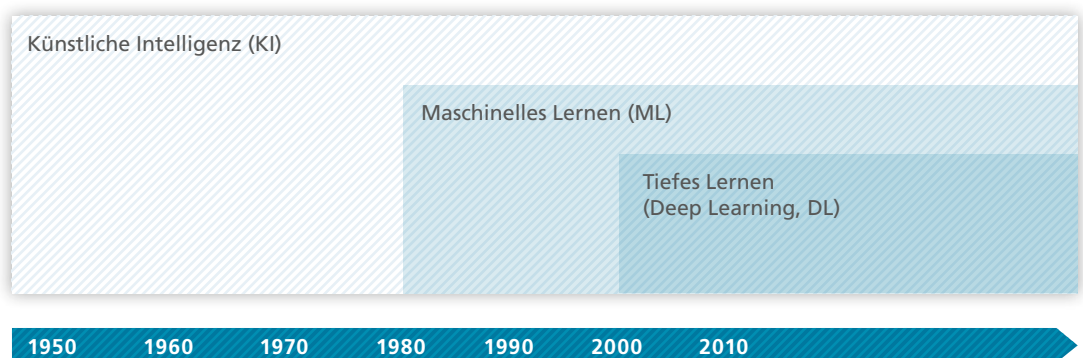


Abbildung 1: Teilgebiete der Künstlichen Intelligenz Forschung und deren Entwicklung (Quelle: Karlsruhe Service Research Institute).

Über die Jahre haben sich zwei Teilgebiete innerhalb der KI-Forschung als besonders vielversprechend herauskristallisiert: das Maschinelle Lernen (ML) und das Deep Learning (DL). Wie in Abbildung 1 dargestellt, lässt sich ML hierbei als Teilmenge der KI und DL wiederum als Teilmenge von ML einordnen. [2] Gemeinsam ist beiden Teilgebieten die Idee des Erlernens von Mustern aus Daten und somit die Generierung von Wissen aus Erfahrung. Auf diese Weise kann ein System die selbst erworbene Wissensrepräsentation anschließend zur Bearbeitung von unbekanntem Aufgaben derselben Art anwenden. [3]

Der jüngste Aufschwung im Bereich der KI basiert auf den Methoden, die dem Bereich des DL entstammen. Hierzu zählen vor allem künstliche neuronale Netze (KNN) sowie „faltende“ neuronale Netze (Convolutional Neural Networks, CNNs). Trotz erheblicher Unterschiede zwischen diesen Ansätzen basieren sie auf der grundsätzlichen Idee, die Netzwerkstrukturen von Nervenzellen abzubilden. Das Wort „deep“ bezieht sich dabei darauf, dass KNNs und CNNs oft eine Vielzahl von aufeinander aufbauenden Schichten umfassen. Diese Methoden haben in vielen Anwendungsbereichen gezeigt, dass sie in der Lage sind, Aufgaben bereits mit einer höheren Genauigkeit zu erledigen, als es einem menschlichen Domänenexperten möglich wäre. Daher stellen sich immer mehr Menschen die Frage, ob ihre Arbeitsleistung in Zukunft noch notwendig sein wird oder ob sie gänzlich durch Maschinen ersetzt werden kann.

Zusammenarbeit von Mensch und Maschine

Trotz dieser weit verbreiteten Vorbehalte geht mit den Systemen der Künstlichen Intelligenz das große Potenzial einher, Menschen Arbeit abzunehmen und sie bei Entscheidungen zu unterstützen, insbesondere bei repetitiven Aufgaben oder der analytischen Prozessen. Damit werden Kapazitäten für schöpferische Tätigkeiten frei, denen sich die Menschen widmen können. Entsprechend überdenken Forscher und Praktiker die Rolle von Menschen und Computern bei verschiedenen Aufgaben. Dabei ist eine zentrale Idee, dass menschliche Intelligenz und Künstliche Intelligenz komplementär sind – und kein Ersatz füreinander, denn auch die besten KI-Modelle sind nicht fehlerfrei. Die Qualität ihrer Ergebnisse hängt insbesondere von der Datengrundlage ab. Weichen beispielsweise neue Daten zu stark von den Trainingsdaten ab, ist es möglich, dass die KI zu falschen Schlussfolgerungen kommt.

Durch die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine lassen sich die jeweiligen Fähigkeiten von Mensch und Maschine kombinieren. Dabei sind verschiedene Konstellationen möglich. Die KI kann beispielsweise als Ratgeber für den Menschen fungieren oder alternativ vom Menschen überwacht werden. Für eine enge Zusammenarbeit von Mensch und Maschine, auch bekannt unter dem Begriff Human-Computer Collaboration, eignen sich insbesondere Anwendungsfälle, die sowohl umfangreiche analytische Fähigkeiten benötigen als auch die impliziten Erfahrungen sowie die emotionale Intelligenz des Menschen. Eine zentrale Fragestellung ist dabei die Ausgestaltung der Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Welcher Kommunikationsweg gewählt wird und welche Informationen ausgetauscht werden, kann über den Erfolg der Zusammenarbeit entscheiden. Dabei spielen Transparenz und die Erklärbarkeit des KI-Modells eine zentrale Rolle, um als Anwender Entscheidungen nachvollziehen zu können. Nur dadurch kann der Mensch der Maschine bei richtigen Entscheidungen vertrauen und andere als fehlerhaft aufdecken, wenn beispielsweise nicht alle relevanten Faktoren berücksichtigt werden. Von der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine profitieren Unternehmen durch verbesserte Leistungen und reduzierte Kosten sowie

Anwender durch einen größeren Zeitgewinn und digitale Unterstützung in repetitiven Prozessen. Einige Mehrwerte sind im Folgenden aufgelistet:

- **Freiraum für Kreativität:** Indem eine KI repetitive Aufgaben übernimmt, schafft sie für den Menschen Freiraum für kreative Tätigkeiten.
- **Reduzierung von Komplexität:** Eine KI ist in der Lage, ein für den Menschen (z. B. aufgrund hoher Datenmengen) unübersichtliches System zu einem greifbaren und verständlichen Teilsystem zu reduzieren.
- **Reduktion von Doppelarbeit:** Durch die intelligente Verknüpfung von Schnittstellen zwischen Systemen lässt sich Doppelarbeit reduzieren.
- **Reduktion von Fehlern:** Ähnlich einem Rechtschreibprogramm wird es künftig z. B. in der Planung von Bauobjekten Korrektursysteme geben, die auf Basis vergangener Projekte oder Regelwerke mögliche Fehler erkennen und damit deren Anzahl reduzieren.
- **Neue Geschäftsmodelle:** Ein aufbereiteter und verknüpfter Datensatz eignet sich als Ausgangslage für neuartige Geschäftsfelder.

Aus diesem Grund werden immer häufiger Begriffe wie Unterstützungs- oder Assistenzsysteme verwendet – Systeme, die den Menschen nicht ersetzen, sondern ihn bei der Bewältigung seines Arbeitsalltages unterstützen. Beispiele für solche Assistenzsysteme werden im nächsten Absatz beschrieben.

Mehrwert digitaler Produkte und Künstlicher Intelligenz in der Bauwirtschaft

An vielen Stellen der Wertschöpfungskette – etwa bei der Angebotserstellung oder bei der Aufgabe von Bestellungen während der Realisierung – ist es erforderlich, die Häufigkeit von verschiedenen Objekten des gleichen Typs auszuzählen. Im Folgenden werden daher zwei beispielhafte Anwendungsfälle für die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine aufgezeigt. In beiden Anwendungsfällen liegt der Fokus im Erkennen von Objekten wie Papierplänen, CAD-Modellen oder Bildern. Die Quelldaten hierzu liegen oft nur in Papierplänen oder veralteten CAD-Modellen vor (siehe Abbildung 2). Es fehlen die notwendigen Strukturen, um diese Daten als Grundlage für Building Information Modeling zu verwenden. Dies hat oft ein manuelles Auszählen von einer Vielzahl an Plänen zur Folge.



Abbildung 2: Vom manuellen Prozess zur Zusammenarbeit von Mensch und Maschine am Beispiel des „Ausählens von Objekten“ (Quelle: Karlsruhe Service Research Institute)

Mit einem KI-Modell können die heterogenen Eingangsdaten (z. B. PDF, PNG, JPEG) verarbeitet, Objekte erkannt und beschriftet werden. Das Training von sogenannten Convolutional Neural Networks (CNN) bildet dabei die technische Basis der Maschine. Wird bei der Erkennung eines Objekts ein Schwellwert zur Identifizierung nicht überschritten, unterstützt hier der Mensch manuell. Die Objekte werden im Plan angezeigt, sodass das Vertrauen in die Auswertung erhöht wird. Der Mensch wird entlastet, Kosten und Fehler werden reduziert. Dadurch frei werdende Zeit kann in andere wertsteigernde Dienstleistungen oder kreative Tätigkeiten überführt werden.



Abbildung 3: Die Zusammenarbeit von Mensch, Drohnen und KI-Methoden zur Vermessung von Gebäuden (Quelle: Airteam Aerial Intelligence GmbH)

Ein weiteres Beispiel für die Nutzung von Künstlicher Intelligenz in der Bauwirtschaft ist die Verwendung von Drohnen zur Vermessung von Gebäuden (siehe Abbildung 3). Künstliche Intelligenz ermöglicht es, aus aufgenommenen Bilddaten automatisiert rudimentäre 3D-Modelle abzuleiten, um Gebäude kostengünstig zu vermessen. Domänenexperten bereinigen anschließend die 3D-Modelle vor der weiteren Verwendung als Grundlage für die Planung von bauartbedingten Veränderungen oder für die Durchführung von Soll-Ist-Vergleichen. Zudem ermöglichen die erstellten Modelle, dass sich alle Projektbeteiligten auf Basis eines gemeinsamen Wissensstandes über das Projekt austauschen können. Durch die Kombination von Drohnen und KI-Methoden können Mitarbeitende auf der Baustelle unterstützt, Prozesse beschleunigt und Risiken nachhaltig reduziert werden.

Neue Geschäftsmodelle

Die Beispiele zeigen das Potenzial von KI für spezifische Einsatzmöglichkeiten in der Bauwirtschaft. Der Umgang mit Daten wird hierbei zur Schlüsselkompetenz. Neue Wertversprechen für Kundinnen und Kunden, neue Ertragsmodelle, neue Wertschöpfungsarchitekturen und Wertschöpfungsnetzwerke werden zu tiefgreifenden Umbrüchen führen. Dazu gehören auch neuartige Formen der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen, wofür plattformbasierte Geschäftsmodelle nur ein Beispiel sind. Traditionelle, produktorientierte Geschäftsmodelle werden von ihren datengetriebenen Pendanten abgelöst, Branchengrenzen verschwimmen, Machtstrukturen in Wertschöpfungs-systemen verändern sich. Vor allem in traditionellen Wirtschaftszweigen wie der Bauwirtschaft besteht die Gefahr einer digitalen Spaltung zwischen Unternehmen, die Digitalisierung als Chance ergreifen und die Potenziale individuell für ihren Betrieb nutzen, und solchen, die mittel- bis langfristig an der Digitalisierung scheitern. Um dieser Spaltung entgegenzuwirken, ist eine zielgerichtete Unterstützung hinsichtlich des Aufbaus von KI-bezogenen Kompetenzen und Fähigkeiten der Unternehmen erforderlich.

Fazit

Die beiden dargestellten Anwendungsfälle basieren auf Methoden der Objekt- und Mustererkennung. Diese Methoden – wie auch andere KI-Verfahren – müssen aus vergangenen Projekten lernen. Eine konstante und umfassende Datenerhebung ist der Schlüsselfaktor für den erfolgreichen Einsatz von KI, da stets Daten verwendet werden müssen, um die KI-Algorithmen dahingehend zu trainieren, dass sie Objekte korrekt klassifizieren oder Entscheidungen treffen können. BIM-Modelle liefern die hierzu erforderliche Datenbasis und stellen somit das digitale Rückgrat der Zukunft des Bauwesens dar. Bei der Digitalisierung analog vorliegender Planungsdaten können Methoden der KI unterstützen, sodass der Mensch seine Fähigkeiten gezielt einsetzen kann und die Produktivität in Bauprojekten gesteigert wird.

Der zunehmende Einsatz von Künstlicher Intelligenz wird voraussichtlich viele bisher fest etablierte Prozesse im Baugewerbe verändern. Bei einer sinnvollen Implementierung zielt die KI nicht darauf ab, den Menschen zu ersetzen, sondern eine Symbiose und gegenseitige Unterstützung von Mensch und Maschine zu ermöglichen. Als Ergebnis dieser Zusammenarbeit können sich zukünftig Fehlerquoten, Komplexität, Doppelarbeit und wiederholende Aufgaben verringern, sodass sowohl die beteiligten Personen als auch die Bauprojekte als Ganzes profitieren.

Literatur

- [1] Kai-Stefan Schober: How to increase efficiency over the entire lifecycle chain. Roland Berger, 2016: <https://www.rolandberger.com/en/Point-of-View/Artificial-intelligence-in-the-construction-industry.html> [abgerufen 12.08.2020].
- [2] Wittpahl, Volker: Künstliche Intelligenz: Technologie, Anwendungen, Gesellschaft. Springer Vieweg, 2019.
- [3] Döbel, Inga et al.: Maschinelles Lernen eine Analyse von Kompetenzen, Forschung und Anwendung. Edited by Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 2018: https://www.bigdata-ai.fraunhofer.de/content/dam/bigdata/de/documents/Publicationen/Fraunhofer_Studie_ML_201809.pdf [abgerufen 17.12.2020].

2.2 Breitbandinfrastruktur auf der Baustelle

Gergey Matl (se commerce GmbH), Martin Kasparick (Fraunhofer HHI), Felix Klein (Telegärtner Karl Gärtner GmbH), Fabian Schmid (se commerce GmbH)

Herausforderungen auf Baustellen und Komponenten moderner Kommunikationstechnik

Beim Neubau eines Gebäudes erfolgt der Ausbau der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) typischerweise erst gegen Ende des Bauverlaufs und dient vorrangig dem späteren Gebäudebetrieb. Eine Internetanbindung des Baugeländes wird meist von Kommunikationsdienstleistern während des Bauverlaufs eingerichtet und bereitgestellt. Ein temporärer Anschluss in der frühen Bauphase erfolgt typischerweise seitens des Generalunternehmens oder des Generalübernehmers durch die Anbindung der Bürocontainer oder durch die Nutzung des öffentlichen Mobilfunknetzes. Allerdings ist diese Anbindung nur in seltenen Fällen für moderne IT-Dienste ausreichend, da sich üblicherweise alle Gewerke und Personen den Anschluss teilen. Die bereitgestellte Infrastruktur und Bandbreite hängen von der Lage und Größe der Baustelle, dem Aufwand zur Erstellung eines Breitbandanschlusses sowie vom Antrags- und Abwicklungsaufwand beim Netzbetreiber ab. Das Baufeld hingegen wird typischerweise durch das öffentliche Mobilfunknetz versorgt. [1]

Moderne Planungsmethoden und ein besseres Verständnis der Materialien in Verbindung mit fortschrittlichen Fertigungsverfahren ermöglichen einerseits beeindruckende und imposante Bauwerke, andererseits stellen diese Projekte auch höhere Anforderungen an die ausführenden Gewerke hinsichtlich einer versierten Abwicklung. Die Baustellen werden einerseits komplexer, da mehr Informationen verarbeitet und mehr Schnittstellen bedient werden müssen, andererseits stehen die Beteiligten unter dem Druck, die Aufgaben schneller abzuwickeln. Die ausgedruckten Baupläne sind dabei nicht mehr ausreichend, um komplexe Geometrien von Bauteilen, wichtige Zusammenhänge und erforderliche Bauabläufe einzuschätzen. Der schnelle Zugriff auf die benötigten, idealerweise digital vernetzt vorliegenden Informationen ist in vielen Fällen aufgrund fehlender Kommunikationsinfrastruktur nur schwer oder gar nicht möglich. Beim Auftreten von unvorhergesehenen Komplikationen muss zum Bürocontainer gegangen werden, um die Problematik zu besprechen. Dabei gehen wesentliche (Kontext-)Informationen verloren oder können nicht unmittelbar zum Experten übermittelt werden. Die vielen Wege, die mangels Datenzugriffsmöglichkeit erforderlich sind, um zwischen Büro und den Orten auf der Baustelle hin- und herzuwechseln, kosten wertvolle Ressourcen. [2]

Digitale Endgeräte wie Tablets, datenübertragende Messgeräte, 3D-Scanner oder teilweise auch Smartglasses werden in einigen Bereichen bereits eingesetzt. Die Auflösung der Kameras und die Übertragungsraten sind für viele Anwendungen, wie beispielsweise die Kontrolle einer Klebefuge oder einer Schweißnaht, noch nicht ausreichend. Um Building Information Modeling (BIM) bis zum Montageort einsetzen zu können, ist eine leistungsfähige und angemessene Kommunikationsinfrastruktur auf der Baustelle erforderlich. Systematische Vorgehensweisen helfen bei der Systemarchitektur und Komponentenwahl. Die hierzu erforderliche systematische Vorgehensweise wurde beispielsweise im Forschungsprojekte IC4F entwickelt und ist mit der Industrial Reference Architecture (iRefA) für 5G-Campus-Lösungen in Fertigungen anwendbar. Mit der Übertragung und Erweiterung auf das Bauwesen werden vorhandene Möglichkeiten zielsicher und schnell einsetzbar. [3]

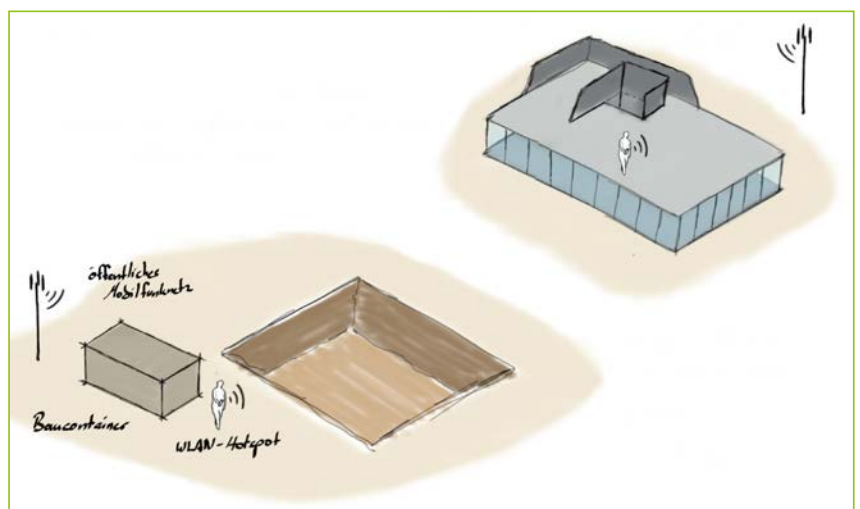
Ausbau der Netzwerkinfrastruktur auf Baustellen heute und in Zukunft

Aufbauend auf dem Anspruch der flexiblen Kombinierbarkeit der Kommunikationstechnik, einer anwendungsbezogenen, schnellen Auswahl der Komponenten, der schnellen Einrichtung sowie der einfachen Administration, wurden im Forschungsprojekt DigitalTWIN vier Ausbauszenarien definiert. Mit diesen grundlegend unterschiedlichen Varianten können je nach Randbedingungen für die Bauphase sowie für eine potenzielle Migration der Kommunikationsinfrastruktur zur Betriebsphase die erforderlichen Technologien und Dienste abgebildet werden. [4]

Die Varianten setzen dabei sowohl kabelgebundene als auch kabellose Infrastruktur sowie Edge- und Cloud-Computing-Lösungen ein, um beliebig große Baustellen entsprechend den jeweiligen Erfordernissen optimal mit Netzwerkzugang, Internet und Plattformdiensten versorgen zu können. [5–6]

Szenario 1 – Individuelle Nutzung bestehender Infrastruktur (no care) geht davon aus, dass am Bauort keine projektspezifische Infrastruktur zur Verfügung steht und die Dienste über das öffentliche Netz (typischerweise Mobilfunk) bereitgestellt werden (siehe Abbildung 1). Der Vorteil besteht im reduzierten Planungsaufwand der Netzwerkinfrastruktur für die Bauphase. Nachteile liegen in der weiterhin gegebenen Trennung der Daten, Dienste und der Kollaboration sowie in der fehlenden Koordination bei Nutzungsspitzen und einer intensiven Parallelnutzung des öffentlichen Netzes. Im Falle des Gebäudebetriebs oder der Inbetriebnahme geht das Szenario davon aus, dass die bestehende Infrastruktur des Gebäudes nicht genutzt werden kann. Auch hier wird bei Wartungsarbeiten auf das öffentliche Netz zurückgegriffen.

Abbildung 1: Der Baucontainer (unten links) ist über das öffentliche Mobilfunknetz angebunden. Es existiert keine separate Anschlussleitung. Von hier wird die Verbindung zu den Baubereichen auf der Baustelle (oben rechts) über einen WLAN-Hotspot eingerichtet. (Quelle: seele, F. Schmid)



Szenario 2 – Gemeinsame Nutzung von zentral bereitgestellter Infrastruktur (Gastzugang) geht davon aus, dass am Bauort ein zentral bereitgestellter Netzzugang zur Verfügung steht (siehe Abbildung 2). Dies ist typischerweise auf größeren Baustellen heute schon der Fall. Im Baucontainer wird die Infrastruktur jedes Gewerkes oder Unternehmens angeschlossen. Gewerkeindividuelle Hot-

spots sind die Praxis, um im Umfeld des Baucontainers einen mobilen Zugang zu gewährleisten. Der Vorteil ist eine größere Verlässlichkeit der Netznutzung im Baucontainer. Der Planungsaufwand der Netzwerkinfrastruktur für die Bauphase ist überschaubar. Der Nachteil besteht in gewerkespezifischer Nutzung und dem Aufbau individueller, nicht koordinierter sowie möglicherweise IT-sicherheitskritischer WLAN-Netze, die sich gegenseitig stören. Eine Erschließung des gesamten Baufeldes bei größeren Baustellen ist ebenfalls atypisch, da sie sich aufwendig gestaltet. Im Falle des Gebäudebetriebs oder der Inbetriebnahme geht das Szenario davon aus, dass bestehende Infrastruktur des Gebäudes genutzt werden kann. Je nach Anwendungsfall ist bei der Planung der Gebäudeinfrastruktur auf eine mögliche virtuelle oder sogar physische Trennung der Netze sowie auf die erforderliche Administration zu achten, um Sicherheitsrisiken zu minimieren.

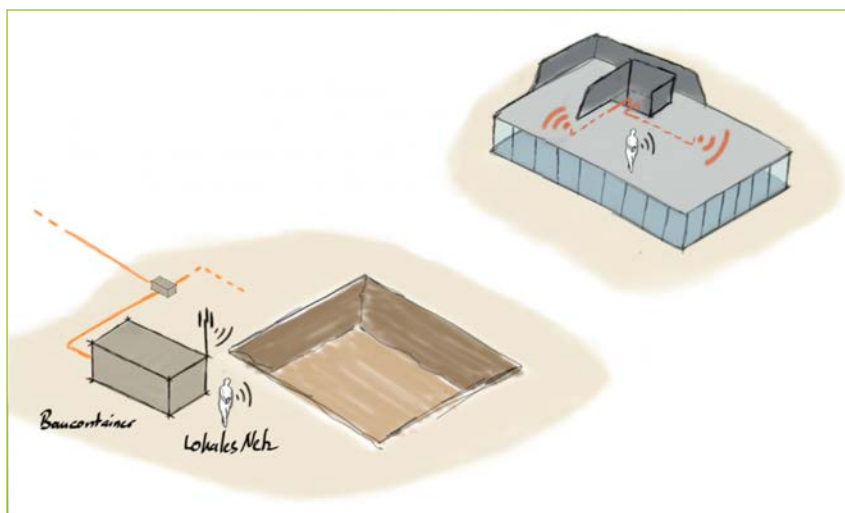
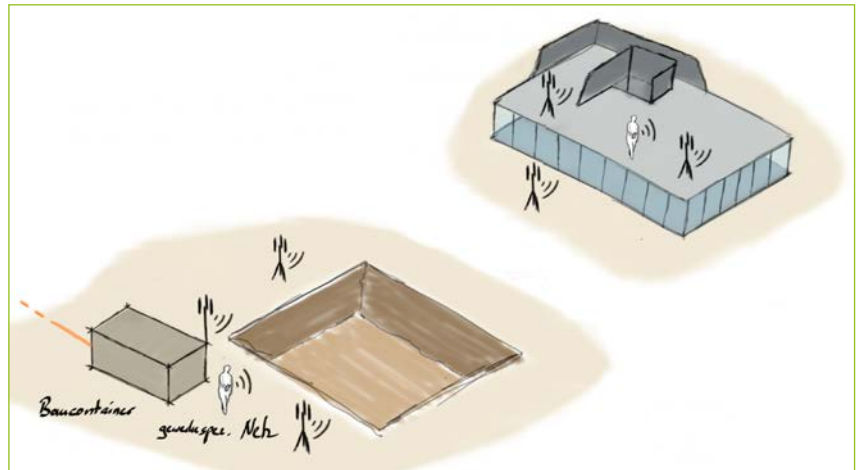


Abbildung 2: Es existiert ein Anschluss zum Baufeld, an den jedes Gewerk seine Infrastruktur anbinden und eigene lokale Netze für die Anbindung der Baubereiche erzeugen kann (Quelle: seele, F. Schmid)

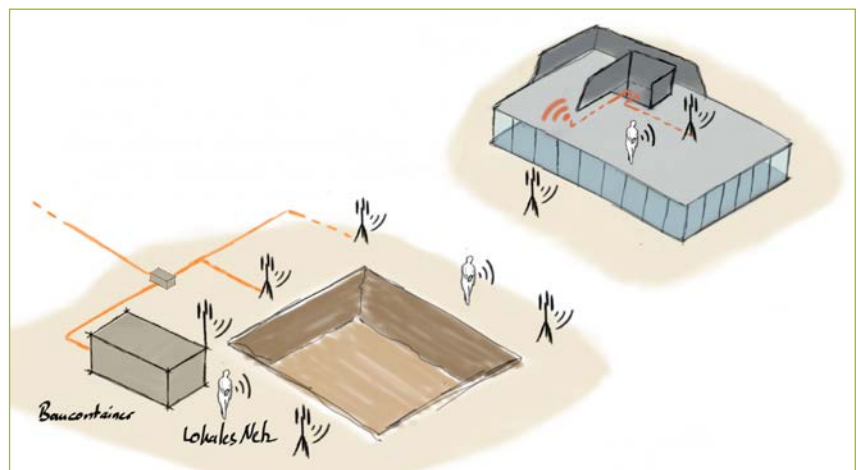
Szenario 3 – Individuelle Nutzung eigener Infrastruktur (Pionierschließung) geht davon aus, dass am Baufeld ein zentral bereitgestellter Netzzugang zur Verfügung steht und dieser von jedem Gewerk mit eigener Technik genutzt werden kann (siehe Abbildung 3). Im Baucontainer wird die Infrastruktur jedes Gewerkes oder Unternehmens angeschlossen. Gewerke-individuelle Funknetze werden aufgebaut. Jedes Gewerk wählt dabei die Technik selbst, um Funktionsfähigkeit sicherzustellen. Der Vorteil besteht in einem zentralen Anschluss mit ggf. gemeinsam nutzbaren Netzbereichen. Trotzdem kann jedes Gewerk darauf aufbauend eigene Technik einsetzen, um das Baufeld je nach Erfordernis zu erschließen. Der Nachteil besteht in IT-sicherheitstechnischen Bedenken aufgrund der Vernetzung unterschiedlicher Gewerke mit jeweils individueller Technik („bring your own device“). Noch relevanter als in Szenario 1 ist die Koordination bei Nutzungsspitzen sowie bei der Administration einer parallelen Nutzung, da sehr viele Antennen in Spitzenzeiten auf der Baustelle gleichzeitig zum Einsatz kämen. Im Falle des Gebäudebetriebs oder der Inbetriebnahme geht das Szenario davon aus, dass die Infrastruktur des Gebäudes nur an zentralen Zugangspunkten genutzt wird. Die virtuelle oder physische Trennung ist mit geringerem Aufwand umzusetzen als in Szenario 2. Zudem können durch die Trennung von IKT für die Bauphase zur IKT in der Betriebsphase mögliche Sicherheitsbedenken hinsichtlich der Manipulation des Netzes vermieden werden. Umgekehrt lassen sich so allerdings keine Synergien mit dem sukzessiven Ausbau der Infrastruktur erzielen.

Abbildung 3: Es existiert ein fester Anschluss zum Baucontainer, den jedes Gewerk nutzen kann (Quelle: seele, F. Schmid)



Szenario 4 – Administrierte Nutzung von mitwachsender Infrastruktur (Migration) geht davon aus, dass das Baufeld neben einem zentral bereitgestellten Netzzugang sukzessive koordiniert ausgebaut wird (siehe Abbildung 4). Dabei geht auch schrittweise ein Teil der eingesetzten Technik aus der Bauphase in die Betriebsphase über. Der koordinierte Ausbau von Infrastruktur stellt allerdings eine weitere Rückkopplung mit den Bauablaufplanungen und der Gebäudeplanung dar, was wiederum koordiniert und abgestimmt werden muss. Domänenwissen zur Kommunikationstechnik und der Austausch hinsichtlich Wechselwirkungen mit anderen Planungsthemen sind für einen effektiven Projektverlauf früh notwendig. Dieses Szenario beschreibt im Vergleich zu den anderen Szenarien die intensive, gemeinsame Nutzung der Infrastruktur durch viele unterschiedliche Gewerke sowie die Koordination der Auslastung und Anforderungen während der Bauphase. Der Vorteil liegt in einer zentralen Koordination und der projektspezifisch wählbaren Ausbaustrategie. Der Nachteil besteht ggf. in sicherheitstechnischen Bedenken aufgrund der Weiternutzung von Technik in der Betriebsphase (Manipulation). Ein höherer Aufwand bei der Absicherung der Baustelle mit Sicherheitsmechanismen vergleichbar denen in der industriellen Fertigung entsteht insbesondere bei Zugang und IT-Sicherheit. Im Gebäudebetrieb und während der Inbetriebnahme geht das Szenario davon aus, dass die entstehende Infrastruktur des Gebäudes genutzt werden kann.

Abbildung 4: Es existiert ein fester Zugang zum Baufeld, der mit fortschreitendem Bauprojekt weiter ausgebaut wird (Quelle: seele, F. Schmid)



Herausforderungen und technische Lösungen

Auf Baustellen und besonders während vieler parallel laufender Baumaßnahmen bestehen – im Vergleich beispielsweise zur IT-Infrastruktur in Fertigungshallen – besondere Anforderungen. Die Anwendungsfälle sind hinsichtlich der Vernetzung von Maschinen mit Entwicklungen im produzierenden Gewerbe vergleichbar. Die Umgebungsbedingungen und Nutzungszeiten sind ähnlich wie bei temporären Event- und Festivalinfrastrukturen. Eigene Charakteristika hat der Infrastrukturausbau auf Baustellen durch die spätere Nutzung des Bauwerks und durch die stetige Veränderung im Bauverlauf. Zu den relevanten Parametern bei der Planung und Auslegung zählen daher: Schutz vor Umgebungsbedingungen, Strukturierung der Kommunikationsinfrastruktur in Abhängigkeit der Nutzung (Skalierbarkeit, Flexibilität), erforderliche Leistungsparameter (Bandbreite, Latenz, Ausfallsicherheit) sowie Handhabbarkeit und Anwendung durch Nicht-Fachleute. Werden zunehmend digitale Werkzeuge und Dienste genutzt, steigen auch die Anforderungen an Sicherheit und Zuverlässigkeit, Leistungsvermögen und Nachhaltigkeit durch Weiternutzung nach Abschluss der Baumaßnahmen. [7]

Für die Vernetzung von Maschinen und Endgeräten unterschiedlicher Gewerke sind administrierte Netzwerke erforderlich, die beispielsweise eine virtuelle Trennung der Netze ermöglichen. Diese Dienste werden – ebenso wie Anwendungen, die Daten in Echtzeit verarbeiten müssen – mittels Serverinfrastruktur auf der Baustelle oder in Baustellennähe bereitgestellt. Mit den Plattformtechnologien, die im Forschungsprojekt scaleIT entwickelt wurden, sind diese Dienste auch offline nutzbar, das heißt bei Unterbrechung oder bei nicht vorhandener Internetanbindung. [8]

Um an den unterschiedlich eingesetzten Endgeräten entsprechend kostengünstig und verlässlich die erforderliche Bandbreite und Latenz bereitstellen zu können, ist eine Prognose der erforderlichen Leistungsparameter notwendig. Moderne Netzwerkvirtualisierung ermöglicht etwa die temporäre oder bereichsspezifische Priorisierung von Nutzern oder Gewerken. Um die kosteneffektivste Nutzung wählen zu können, sollte geprüft werden, ob sicherheitstechnische Bedenken hinsichtlich der Migration der Infrastruktur von der Bauphase zum endgültigen Regelbetrieb des Gebäudes bestehen. Ebenfalls situationsbezogen abgeschätzt werden sollte in Anbetracht des 5G-Ausbaus, ob entsprechende Campus-Lösungen durch Netzbetreiber vor Ort angeboten werden. [9] Hohen Datenraten und gleichzeitig niedrige Latenzen sind bei klassischen Mobilfunkfrequenzen für eine größere Anzahl an Endgeräten schwer zu realisieren. Daher werden für 5G auch deutlich höhere Frequenzen im sogenannten Millimeterwellenbereich in Betracht gezogen [11,12]. Diese Technologien sind aber derzeit noch nicht am Markt verfügbar, weshalb im Projekt DigitalTWIN beispielsweise Funkzugangsknoten basierend auf Millimeterwellentechnologie entwickelt wurden, um die Leistungsfähigkeit dieser Technologie und den flexiblen Einsatz auf der Baustelle zu untersuchen. Zusätzlich zur kabelgebundenen Vernetzung von Funkinfrastrukturkomponenten kann damit eine drahtlose Vernetzung (ein sogenanntes Wireless Backhaul) eingesetzt werden. Dieses Konzept wird derzeit intensiv diskutiert [13] und für zukünftige 5G-Netze eine wichtige Rolle spielen, insbesondere wenn eine Anbindung mit Glasfaser nicht möglich oder wirtschaftlich ist. Dabei werden feste und mobile Campus-Netzen auch für die Bauwirtschaft zunehmend wichtig, um Bandbreite, Latenz und Abdeckung für zunehmend auch kritische Dienste zu gewährleisten. [14] Tabelle 1 zeigt die unterschiedlichen Funkzugangsmöglichkeiten im Vergleich und setzt sie in Bezug zu den beschriebenen Szenarien.

ÖFFENTLICHES MOBILFUNKNETZ [Szenario 1]

	heute üblich: 3G (UMTS)/4G (LTE)	Zukünftig: 5G
Frequenzbereich	0,85 – 1,9 GHz	Sub-6-GHz: 700 MHz - 5 GHz (5G NR), mmWave: > 26 GHz (5G NR FR2)
Bandbreiten	begrenzte Bandbreiten	Sub-6-GHz: begrenzte Bandbreiten, mmWave: größere Bandbreiten
Latenz	3G: hoch 4G: moderat	niedrig
Reichweite/Abdeckung	hohe Reichweite	Sub-6-GHz: hohe Reichweite mmWave: geringe Reichweite
Charakteristik	fits all Ansatz	Dienste-Optimierung (Bandbreite, Latenz, Abdeckung)
Sicherheit	mittel	hoch
Angriffsszenarien	gegeben, aber unwahrscheinlich	neue Sicherheitsfunktionen, geringe Risiken
Anwendungsfälle	Maschinenkommunikation mobiles Arbeiten (Officekommunikation)	Kritische Maschinenkommunikation mobiles Arbeiten (hochratige Dienste)

LOKALES FUNKNETZ MIT BACKHAUL-ANBINDUNG (Richtfunk, Mobilfunk oder Kabelgebunden) [Szenario 2 – 4]

	WLAN (802.11a/b/g/n/ac)	mmWave Backhaul	privates 5G-Campusnetz
Frequenzbereich	2,4 und 5 GHz	802.11ad 60 GHz Zukünftig: 5G > 26 GHz (5G NR FR2)	3,7 bis 3,8 GHz (5G NR)
Bandbreiten	begrenzte Bandbreiten	größte Bandbreiten	begrenzte Bandbreiten
Latenz	niedrig	niedrig/sehr niedrig	niedrig
Reichweite/Abdeckung	mittlere Reichweite	geringe/mittlere Reichweite	mittlere Reichweite
Charakteristik	fits all Ansatz	Dienste-Optimierung (Bandbreite, Latenz, Abdeckung)	Dienste-Optimierung (Bandbreite, Latenz, Abdeckung)
Sicherheit	niedrig	mittel	hoch
Angriffsszenarien	gegeben, wahrscheinlich	gegeben, aber unwahrscheinlich	neue Sicherheitsfunktionen, getrenntes Netz, geringste Risiken
Anwendungsfälle	Maschinenkommunikation mobiles Arbeiten (Officekommunikation)	lokale Hochgeschwindigkeits- verbindung Infrastrukturvernetzung	Kritische Maschinenkommunikation mobiles Arbeiten (hochratige Dienste)

Aktuell werden digitale Werkzeuge hauptsächlich von jedem Gewerk unabhängig von allen anderen über das öffentliche Mobilfunknetz mit geringen Anforderungen an Bandbreite oder im Baubüro eingesetzt. Werden Prozesse und die Ausführung der Gewerke zunehmend digital unterstützt, wird die Sicherheit der Übertragungstrecken beispielsweise durch redundante Verkabelung sowie die Zugangskontrolle auf der Baustelle und die Absicherung von Endgeräten zunehmend wichtig. Liegt aktuell der Fokus hauptsächlich auf dem Schutz der Hardware vor Beschädigungen und Entwendung, werden in Zukunft Aspekte wie ein sicherer Zugang zur Projekt- und Unternehmensinfrastruktur, die Identifizierung der Nutzer und die Verschlüsselung von Daten wichtiger. [10]

Fazit

Die technischen Möglichkeiten sowie die Vielfalt an Geräten und Technologien machen es absehbar, dass die Breitbandinfrastruktur für Baustellen ein ebenso wichtiges Thema werden wird wie die bisherige Baustrom- oder Bauwasserinfrastruktur. Es ist erforderlich, dass die Typologie sowie die Komponenten des Kommunikationsnetzes entsprechend geplant und koordiniert werden, um im Bauablauf jedem Gewerk gezielt die erforderlichen Leistungsparameter zur Verfügung stellen zu können. Durch die technische Variantenvielfalt, die einsatzspezifischen Erfordernisse und den Abgleich mit den tatsächlichen Anforderungen einer konkreten Baustelle sind modulare und einfach zu bedienende Geräte erforderlich, die nach kurzer Einweisung eingesetzt werden können. Für größere Baustellen und wiederkehrende Einsätze kann es sich anbieten, die Baustellen durch versierte Dienstleister und mit Service-Level-Vereinbarung ausrüsten zu lassen.

Insgesamt gilt es, die Möglichkeiten und Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur früher zu beachten und auch den Risiken, Angriffsszenarien und Sicherheitsaspekten Rechnung zu tragen. In einem geplanten, strukturierten Ausbau der Infrastruktur liegen durchaus Potenziale, um den Übergang zwischen Bau- und Betriebsphase zu verbessern, Infrastruktur gemeinsam einzusetzen und Kommunikation auf und mit der Baustelle wesentlich zu beschleunigen.

Literatur

- [1] DigitalTWIN Zwischenbericht: Initiales Konzept für Funkzugang und Netzinfrastruktur, August 2019.
- [2] Handwerkskammer Erfurt, Abschlussbericht: Auswirkungen der Digitalisierung auf das Handwerk, Januar 2018.
- [3] IC4F Whitepaper: The Industrial Reference Architecture (iRefA) – Description and User Guidance for System Architects, April 2019.
- [4] XR4Site Online Symposium 2020: <https://programm.dtw.in.eu/> [abgerufen: 22.10.2020].
- [5] Wrobel, Christoph: Optische Übertragungstechnik in der Praxis. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Hüthig-Verlag, 2004.
- [6] DIN EN 50174-3:2017-11: Informationstechnik – Installation von Kommunikationsverkabelung – Teil 3: Installationsplanung und Installationspraktiken im Freien, 2017.
- [7] Kiery, Hans-Jürgen, Köhler, Rolf-Dieter, and Wilhelm, Andreas: IT-Verkabelungssysteme. Fossil-Verlag, 2004.
- [8] ScaleIT: https://www.microtec-suedwest.de/images/pdf/ScaleIT_gemeinsamer_Abschlussbericht_public.pdf [abgerufen: 22.10.2020].
- [9] Handwerk Digital sContainer: https://www.mysortimo.de/de/produkte/mobiles-arbeiten/scontainer#00006044_textComponent (abgerufen: 22.10.2020).
- [10] Fraunhofer AISEC: Exemplarische Risikoanalysen am Beispiel der Use Cases von DigitalTWIN, Oktober 2020.
- [11] Uwaechia, Anthony N. and Mahyuddin, Nor Muzlifah: A Comprehensive Survey on Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation Wireless Networks: Feasibility and Challenges, in IEEE Access, vol. 8, pp. 62367–62414, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2984204.
- [12] Ahmadi, Sasan: 5G NR: Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards. Academic Press, 2019.
- [13] Siddique, Uzma; Tabassum, Hina; Hossain, Ekram and Kim, Dong In: Wireless backhauling of 5G small cells: Challenges and solution approaches, in IEEE Wireless Communications, vol. 22(5), pp. 22–31, 2015.
- [14] Peisa, Janne; Persson, Patrik; Parkvall, Stefan; Dahlman, Erik; Grövlén, Asbjørn; Hoymann, Christian and Gerstenberger, Dirk: 5G Evolution: 3GPP Releases 16 & 17 Overview, in Ericsson Technology Review, vol. 9, pp. 1–5, 2020.
- [15] Keating, Ryan; Säily, Mikko; Hulkkonen, Jari and Karjalainen Juha: Overview of Positioning in 5G New Radio, 2019 16th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Oulu, Finland, pp. 320-324, 2019, doi: 10.1109/ISWCS.2019.8877160.

2.3 Einfache und flexible Integration digitaler Werkzeuge in Planung, Ausführung, Betrieb und Rückbau

Fabian Schmid (se commerce GmbH), Lucio Blandini (Werner Sobek AG), Philipp Kopriwa (se commerce GmbH), Eric Wolgast (Werner Sobek AG)

Neue Architektur und Markthintergründe

Das neue ökologische Bauen mit industriellem Anspruch und individueller Ausprägung zeigt Entwicklungstendenzen ähnlich zur Marktsituation des Industriedesigns komplexer technischer Geräte. [1] Der Begriff „Simplexity“ bezeichnet die Zusammenführung eines komplexen Systems mit einer einfachen, plausiblen und pragmatischen Nutzung. [2] In der Produktentwicklung von Smartphones arbeiten beispielsweise Teams aus unzähligen Experten zusammen, die mit dem Einfluss

Digitale Zwillinge werden auch im Bauwesen erstellt, beziehen sich bislang allerdings hauptsächlich auf die Arbeiten einzelner Unternehmen, nicht auf den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes.

des Industriedesigns vielseitig einsetzbare Gesamtsysteme hervorbringen. [3] Neben der individuellen Methodenkompetenz und Expertise der beteiligten Fachrichtungen ist eine produkt- oder projektorientierte gemeinsame Lösungsstrategie erforderlich. Ungehinderte Informationsbeschaffung und medienbruchlose Datenverarbeitung sind für diese Lösungsfindungsprozesse essenziell. [4]

In den von Industrial Design geprägten Industrien gibt es eine bessere Zusammenführung solcher Informationen und Datenquellen als im Bauwesen. Dies ist vorrangig durch

die typischerweise einem Hersteller zuordenbare Produktverantwortung gegeben. In Branchen wie der Elektronik- und Elektrogeräteherstellung werden mit integrierten und standardisierten Prozessen umfassende und weitgehend konsistente digitale Abbilder ihrer Produkte, sogenannte digitale Zwillinge, erstellt, verarbeitet und administriert. Gemeint ist hiermit eine ausreichend vollständige, funktionale und vernetzte Beschreibung in digitaler Form, die sich aus gekoppelten Datenquellen und Modellen ableitet. Digitale Zwillinge werden auch im Bauwesen erstellt, beziehen sich bislang allerdings hauptsächlich auf die Arbeiten einzelner Unternehmen, auf einzelne Aufgabengebiete oder definierte Detailtiefen eines Projektes. Dies führt zu Brüchen, Inkonsistenzen und langwierigen Abstimmungsprozessen. Die für eine durchgängige, medienbruchfreie Datenerfassung und -verarbeitung erforderliche Digitalisierung beeinflusst alle Phasen im Gebäudelebenszyklus (siehe Abbildung 1), allerdings mit unterschiedlichen Schwerpunkten und Ausprägungen. Die Entwurfs- und Planungsschritte sind durch die eingesetzten Modellierungswerkzeuge und die Zusammenführung dieser Modelle mittels kompatibler Dateien geprägt. Der Mehrwert bei der Projektkoordination und Optimierung der Bauabläufe entsteht durch medienbruchlose Vernetzung von Prozessschritten in der Fertigungs-, Montage- und Betriebsphase.

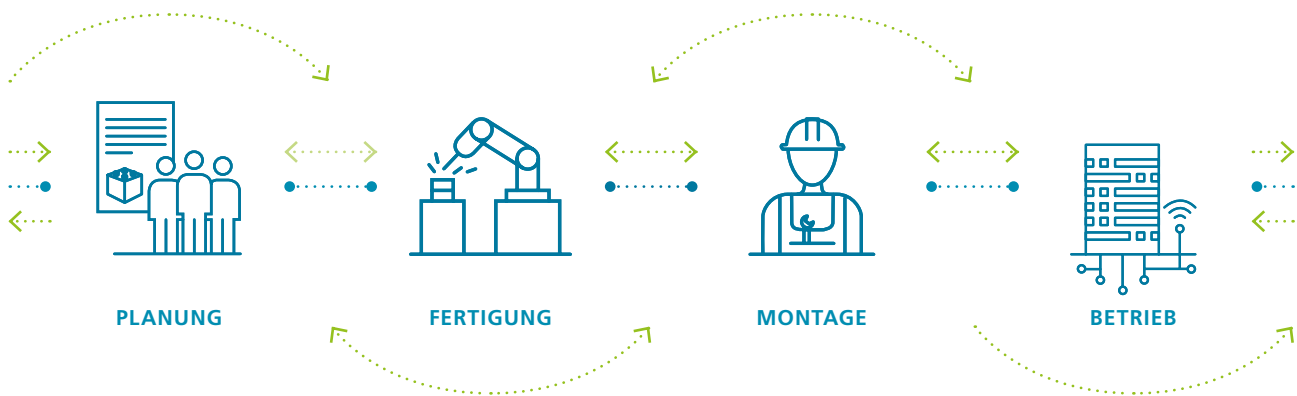


Abbildung 1: Abhängigkeiten und Querverbindungen der Bauprojektphasen (Quelle: seele, F. Schmid)

Schnittstellen zwischen Projektphasen und Akteuren benötigen einfach anwendbare, aber dennoch mit den erforderlichen Funktionen versehenen IT-Lösungen. Definierte Strukturen, wie sie bei Industrieprozessen gegeben sind, gibt es in der Bauwirtschaft nicht im erforderlichen Maß, um gleiche Methoden erfolgreich anwenden zu können. Hier werden flexibel einsetzbare Schnittstellen benötigt, um schnell unterschiedliche Technologien, wie beispielsweise XR-Dienste aus der Medien- und Computerspieleszene oder additive Fertigungsverfahren, automatisiert anbinden und einsetzen zu können. [5] Die in anderen Branchen entwickelten Lösungen können dem Bauwesen jedoch wichtige Impulse für den künftigen Umgang mit digitalen Planungswerkzeugen geben.

Die richtigen digitalen Werkzeuge?

Bei der Adaption von Werkzeugen und Technologien stellt sich aus strategischer Sicht die Frage, welche Technologien zukünftig mit Mehrwert für das eigene Geschäftsmodell genutzt werden können. Durch die schiere Vielfalt und weiter zunehmende Möglichkeiten wird klar, dass die Konzentration auf wenige vielversprechende Technologien für einen Betrieb oder ein Projekt riskant ist. Für die Beschäftigung mit allen Technologien fehlen oft schlicht die Ressourcen. Deshalb wird Simplicity eine wesentliche Anforderung an digitale Werkzeuge und deren systemische Einbettung sein, um nicht durch künstliche, technische Hürden und Barrieren eine breite Nutzung, eine schnelle, eigenadministrierte Einbettung sowie die Aneignung der damit gekoppelten Kompetenzen zu verhindern. [5]

Aktuell wird der Softwaremarkt für die Planung hauptsächlich von wenigen großen Anbietern dominiert. Bei der Bauausführung gibt es ebenfalls große Anbieter, beispielsweise für Managementwerkzeuge. Allerdings werden zahlreiche spezialisierte Geräte und Werkzeuge, die dann im Detail über die erfolgreiche Fertigung oder Montage entscheiden, oft mit individueller und spezieller Software betrieben. Unterschiedliche Forschungsprojekte und die Erfahrung in der Praxis zeigen, dass Softwareprodukte und Systemlösungen auf den Markt gebracht werden sollten, die durch offene Datenformate und Schnittstellen kompatibel und einfach zu bedienen sind. Dies kann mittelfristig zu durchgängigen, kompatiblen IT-Lösungen führen, die eine schnelle, lösungsorientierte Kombination der geeignetsten digitalen Werkzeuge ermöglicht. Neben der Kompatibilität und Durchgängigkeit, die beispielsweise bei BIMSWARM (siehe auch Kapitel 3.2) vorgebracht wird, ermöglicht

eine solche Offenheit und Kompatibilität auch die gesamtheitliche Vernetzung. Entwicklungen aus anderen Branchen und von Spezialisten können so schnell auf die Planerwelt und auf die Bauwirtschaft übertragen werden. Dies ermöglicht auch, die erforderliche Fachexpertise und den interdisziplinären Austausch zu erweitern, sowie die manuellen Prozesse, formalen Regulierungen und Regelungen abzubauen. Forschungsprojekte wie DigitalTWIN mit dem Einsatz von scaleIT-Technologien zeigen, dass es möglich und erforderlich ist, die aktuelle Marktstruktur zu durchbrechen, prinzipiell steigende Abhängigkeiten bei der Wahl eines Dienstleisters oder eines Produktes auszuschließen und den Ressourceneinsatz bei der Integration und Nutzung digitaler Werkzeuge um Größenordnungen zu reduzieren. [6]

Das Bauwesen kann durch die Integration, das Verständnis und die Einbettung von Techniken der Datenanalyse (Big Data, KI), von neuen Messverfahren oder Visualisierungstechniken sowie von modularer und agiler Softwareentwicklung sehr profitieren. Der Mehrwert besteht darin, modulare, skalierbare, aber auch individualisierbare Soft- und Hardwarekomponenten entwickeln zu können, die den Anforderungen der jeweiligen Anwender (Bauherr, Architekt, Planer, Lieferant etc.) entsprechen. Im Vordergrund steht hierbei nicht ein seriell produziertes und in einzelnen Parametern variiertes Produkt, sondern individuelle, an die Bedingungen adaptierte Werke (Baukultur 4.0).

Rollen und Abläufe entlang der Wertschöpfungskette

Projekte mit einer komplexen Geometrie bzw. mit technischen oder ästhetischen Innovationen sind heute ohne eine Vielzahl eingesetzter Softwarelösungen und parametrisch gesteuerter Prozessschritte nicht realisierbar. Die Umsetzung dieser Bauprojekte wird dabei typischerweise in einer Vielzahl von Iterationsschritten zwischen Bauherr, Architekt, Fachplaner, Projektentwickler, Behörden und ausführenden Unternehmen detailliert und in gegenseitigem Austausch sukzessive erarbeitet. Dieser Austausch erfolgt aktuell nur in Ausnahmefällen komplett digital. Manuelle Anpassungen, Übertragungen, Schnittstellenkonflikte sowie Inkompatibilität von Daten oder mangelhafte Datenqualität sind häufig Ursachen für Fehler oder Verzögerungen. [7]

Zur architektonischen Gestaltungsabsicht sowie zu den Fertigungs- und Montageparametern eines Bauprojektes werden Konzepte für den vernetzten Betrieb, den Um- und Rückbau sowie die stoffliche Wiederverwertung (Recycling) zunehmend relevant. Aufgrund dieser vielfältigen Einflüsse sind

Digitale Werkzeuge müssen den Austausch der Informationen durchgängig und einfach ermöglichen.

Lösungswege und Prozesse bislang stark projektspezifisch geprägt und müssen immer wieder neu erarbeitet werden. Jeder eingebundene Experte erarbeitet typischerweise seine eigenen Modelle und pflegt ein koordiniertes Gebäudedatenmodell. Die Art und Weise, wie Daten ausgetauscht und aktualisiert werden, wird trotz Referenzprozess des Building Information Modeling (BIM) immer wieder neu

festgelegt. Auf der anderen Seite ist die Erarbeitung von eigenen Modellen und Daten gewollt und erforderlich, auch hinsichtlich der Produkthaftung oder Leistungsüberprüfung. Abbildung 2 zeigt schematisch die Herauslösung von konstruktivem Modell und exemplarischem Auftragnehmermodell aus dem Entwurfsprozess sowie die Fortführung und iterative Anpassung.

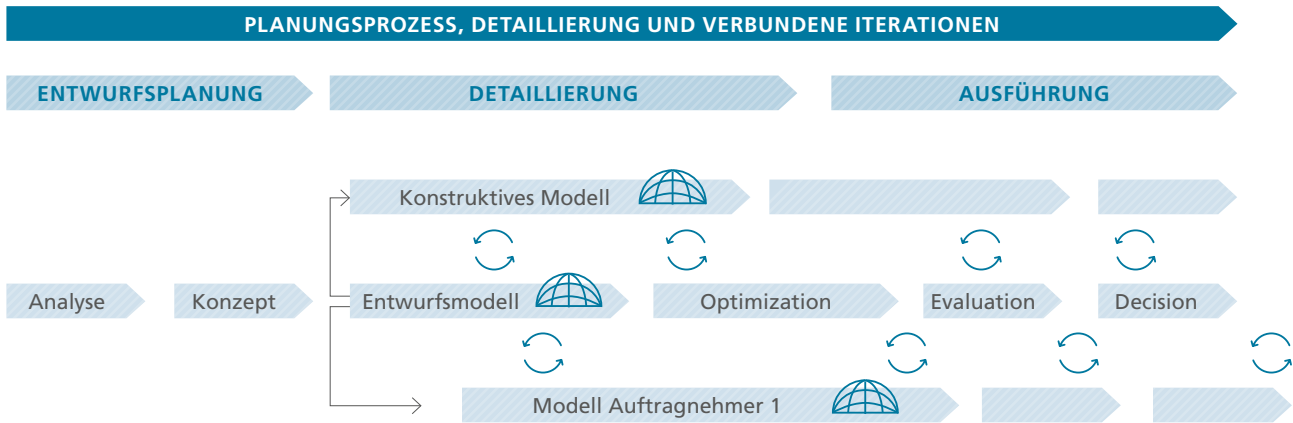


Abbildung 2: Abhängigkeiten und Querverbindungen der Bauprojektphasen [7] (Quelle: seele, F. Schmid)

Die digitalen Werkzeuge müssen den Austausch der Informationen dementsprechend durchgängig und einfach ermöglichen. Die analogen Schritte sollten sich auf die von der Technik nicht abbildbaren Fragestellungen, wie architektonisches Konzept, Detaillierungssystematik oder Materialität sowie den Planungsdiskurs fokussieren. [8] Die klassische Moderne und das Industrial Design zeigen, dass eine Ästhetik nicht automatisch aus der Verwendung von Werkzeugen und Regeln folgt. Die Übertragung der geometrischen Information anhand eines Prinzipmodells, das die wesentlichen Randbedingungen und Zusammenhänge beschreibt, hilft beim Planungsdiskurs und ermöglicht die Referenzierung von Variantenstudien, ausführlichen Modellen, Prüfalgorithmen oder sonstigen Arbeitsergebnissen. Im Forschungsprojekt DigitalTWIN wird diese Vernetzung und Referenzierung beispielhaft an einem reduzierten Prinzipmodell aus Knoten, Achsen und Grundflächen sowie zusätzlich beschriebenem Logikaufbau entwickelt. Abbildung 3 zeigt in symbolischen Skizzen, wie festgelegte Systemstrukturen, definierbare Parametrisierung und die flexible Einbindung von Parameter- und Lösungsräumen genutzt werden können. Die Bereitstellung des Prinzipmodells erfolgt über eine digitale Plattform (z. B. scaleIT), die durch die Bauherren oder den Bauherrenvertreter bereitgestellt wird. Die beteiligten Akteure referenzieren auf dieses Prinzipmodell und können in ihrer individuellen Plattformumgebung mit der entsprechenden Datenhoheit die detaillierteren Modelle mit dynamischer Abhängigkeit aufbauen. Das Vorgehen ermöglicht einen multidimensionalen Austausch referenzierter Arbeitsergebnisse mit Versionierung und sofortiger Verfügbarkeit von Änderungen, der parallelen Weiterführung von Varianten sowie einer administrierten Zusammenführung. Prüfungen und Berechnungen können entweder mit einem hinterlegten automatisierten Prozess oder manuell mit Expertenwerkzeugen wie Berechnungs- und Simulationswerkzeugen durchgeführt werden.

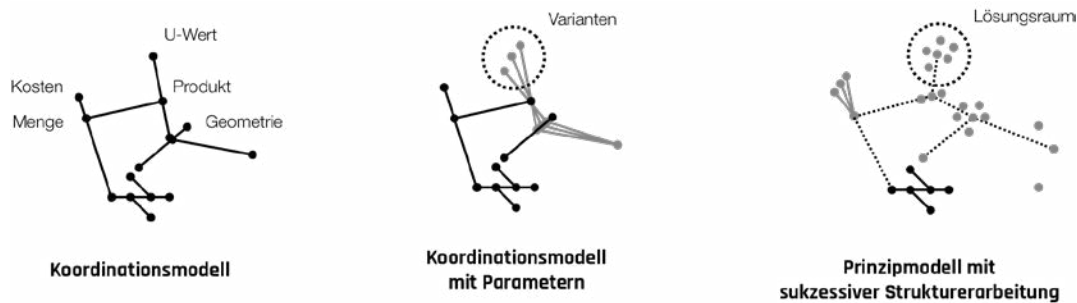


Abbildung 3: Symbolische Darstellung unterschiedlicher Modelltypologien (Quelle: seele, F. Schmid)

Jede Art von Daten oder Strukturanpassung kann flexibel mit dem Prinzipmodell kombiniert werden. Der digitale Zwilling besteht folglich aus verteilten und koordinierten Datenbanken und Datenquellen, die über eine Plattform oder über Plattformcluster logisch im Sinne des Grundprinzips sowie zeitlich miteinander verknüpft sind. Die Regeln und die Logik dieser Verknüpfungen bestehen aus definierten Annahmen oder Festlegungen sowie aus zeitabhängigen Zuordnungen von Ereignissen und Erkenntnissen im Planungsprozess. Eine solche dynamische und flexible Verknüpfung der Daten, Infrastrukturen und Dienste ermöglicht eine schnelle Reaktion bei der Einbindung und aufgabenspezifischen IT-Dienstentwicklung. Dies reicht von Dashboards zur Überwachung von Aufgaben, Prozessen, Maschinen oder Messungen über die Einbindung von 3D-Viewern mit aufgabenspezifischer Visualisierung bis hin zur Bereitstellung der Daten für Dienste der virtuellen und erweiterten Realität (VR- und AR-Anwendungen) auf Tablets oder Smartglasses. Insgesamt ist eine Verknüpfung von Diensten aus den Bereichen Industrial Internet of Things und Industrie 4.0 mit BIM sowie erweiterter Realität (XR) für eine umfassende und flexible Nutzung möglich. [9] Dabei wird über Referenzen durch eindeutige IDs, entsprechend festgelegte Systematiken und Berechtigungen sowie über die Logik der Auswertelgorithmen der erforderliche Inhalt flexibel und ereignisorientiert, zuordenbar und abrufbar abgelegt. Das Planungs- und Fertigungsmodell wird in nativen Softwareprogrammen erstellt und kann über die eingesetzten Plattforttechnologien an den Fertiger zur Prüfung weitergereicht werden. Bei entsprechenden Änderungsanforderungen des Fertigen kann es wieder zurück an den Planer adressiert werden. Dieser bidirektionale Prozess zwischen Planer und Fertiger wird mit einer Datenbank zur Speicherung von 3D-Informationen auf der Plattform unterstützt. Eine weitere Besonderheit ist, dass die Daten beim Abruf von der Plattform an den erforderlichen Detaillierungsgrad (Level of Definition, LoD) des jeweiligen Bearbeiters oder der jeweiligen Visualisierung angepasst sind. So können die Daten direkt über eine Middleware in AR- oder VR-fähige Endgeräte eingespielt und z. B. in Kollaborationsszenarien verwendet werden. [10, 11]

Die damit zum Einsatz kommende flexible und strukturminimierte Verknüpfung ist für solche offenen Lösungsfindungsprozesse wie bei Bauprojekten sehr gut geeignet. Bei wesentlichen Veränderungen der Projektstruktur sind heute grundlegende und manuelle Anpassungen der bis dahin festgelegten Abhängigkeiten erforderlich. Die Verschiebung der Logik von der Datenstruktur bisher eingesetzter relationaler Datenbanken zu objektorientierten Datenbanken und darauf aufbauenden Auswertelgorithmen ermöglicht, im Projektverlauf flexibler und schneller agieren zu können.

Digital unterstützte Gestaltungsprozesse auf Basis offener, flexibler und skalierbarer Plattform-Cluster

Um diese dynamische Vernetzung von Modellen und Daten zur Erstellung eines digitalen Zwillings mit Abbildung von Objekt, Prozess und Werkzeugdaten zu erreichen, ist es erforderlich, dass die Planungs- und Fertigungsplattformen mit ihren Funktionsbausteinen, Schnittstellen und Kommunikationsprotokollen entsprechend dokumentiert und vorzugsweise definiert administrierbar bereitgestellt werden. Offene und dokumentierte Datenaustauschformate und Schnittstellen ermöglichen es, dass auf das 3D-Modell oder die Datenquellen bei aufkommenden neuen Fragestellungen im Projektverlauf schnell und direkt referenziert werden kann. Damit Nutzer, die je nach spezifischem Aufgabenbereich die jeweils für sie bessere Softwarelösung einsetzen können, zu bearbeitende Tickets übergreifend erhalten, sind Synchronisationsvorgehen implementiert. Die Anbindung verschiedener Anwendungen, denen bedarfsgerecht relevante Informationen zur Verfügung gestellt werden, zeigt die Offenheit der Plattform, die durch die implementierte Architektur zustande kommt.

Dafür ist ein enger Austausch zwischen Partnern sowie die frühzeitige Beachtung von Fertigungsverfahren und Abläufen wichtig. Planung, Fertigung und Betrieb müssen enger zusammengedacht und geführt werden. Für flexible, vertrauensvoll arbeitende Partnernetzwerke bestehen heute noch nicht die entsprechenden Infrastrukturen, die eine transparente Projektstrukturierung und -organisation sowie eine einfache und schnelle Bedienbarkeit ermöglichen. Die Use Cases in DigitalTWIN zeigen, dass für unterschiedliche Phasen und unterschiedliche Szenarien durchaus gleiche, modulare IT-Infrastruktur verwendet werden kann, die sich dann auch projektspezifisch entwickeln und konfigurieren lässt. Die Mitarbeiter der Softwareentwicklung werden so Teil des Designteam. Projektspezifische Dashboards wie zur Überwachung der Montagearbeiten oder zum Monitoring im Gebäudebetrieb können durch die Verwendung kompatibler offener und modularer skalierbarer IT-Lösungen mit deutlich weniger Ressourceneinsatz erstellt werden. Die verwendete private Cloudlösung von scaleIT aus dem gleichnamigen Forschungsprojekt setzt als Technologie auf eine Docker-Infrastruktur mit dem Orchestrierungs-Framework Cattle.

Docker bietet eine Containertechnologie, die es Entwicklern ermöglicht, Anwendungen und ihre Abhängigkeiten zu kapseln. [12, 13] Cloud-Computing-Technologien sowie Containerisierung werden in Kapitel 3.1 näher beschrieben und sind Basis der Softwareentwicklung in zahlreichen Forschungsprojekten und neuen Diensten. Bei der Anwendungsentwicklung wurde darauf geachtet, nach Möglichkeit sogenannte Microservices zu implementieren. Diese Microservices stellen modulare Anwendungen dar, die sich dadurch auszeichnen, eine einzige, abgegrenzte, kontextspezifische Aufgabe aus einem Gesamtsachverhalt zu erledigen. Eine Software-System-Aufteilung hilft unter anderem dabei, die Flexibilität, Skalierbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Änderbarkeit und Wartbarkeit der Software zu verbessern. Das Vorgehen zur Microserviceentwicklung wurde hierbei aus den Herangehensweisen des Domain Driven Design (DDD) übernommen. [14, 15]

Zur Vernetzung von Modellen und Daten zur Erstellung eines digitalen Zwillings ist es erforderlich, dass Plattformen mit entsprechenden Funktionsbausteinen, Schnittstellen und Kommunikationsprotokollen bereitgestellt werden.

Fazit

In öffentlich geförderten Forschungsprojekten wie scaleIT, SENSE, BIMSWARM oder DigitalTWIN, werden die Grundlagen für eine schlanke und effektive Nutzung von grundlegenden Funktionsbausteinen, die gemeinschaftliche Nutzung von Plattformdiensten und Funktionen gezeigt. ScaleIT hat darüber hinaus Webtechnologien entwickelt, die offline, online oder hybrid vernetzt genutzt werden können, um eine aufgabenspezifische Ausbildung der Cloud- und Software-Architektur zu ermöglichen. Die digitale Planung sowie eine flexibel vernetzte Kommunikation können mit offenen Standards realisiert werden. Zudem muss der Modelldatenaustausch zwischen Planung und Ausführung diskutiert und verbessert werden, um die relevanten Daten zwischen den Akteuren medienbruchfrei und automatisiert austauschen zu können, ohne Kern-Know-how preisgeben zu müssen. Die mögliche Einbindung vieler unterschiedlicher Softwarelösungen und Werkzeuge zeigt, dass offene BIM-Standards notwendig sind, um einen zukunftsfähigen, kontinuierlichen Informationsaustausch zu gewährleisten.

Ziel ist damit auch die Entwicklung einer vertrauenswürdigen, vernetzbaren Cloud-Cluster-Infrastruktur, die Datenhoheit und Datenschutz sowohl im Bauprojekt als auch hinsichtlich der Softwareanbieter ermöglicht. Stringente Entwurfsansätze und die Entscheidung zu pragmatischen Kombinationen aus analogen und digitalen Prozessschritten liegen in der Verantwortung der Entwerfer, Planer und Projektmanager. Die Entwicklung einer vertrauenswürdigen und einfach anwendbaren IT-Infrastruktur ist eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Nutzung digitaler Werkzeuge sowie von Softwarelösungen und Diensten. Für die Digitalisierung des Bauwesens und für die weiterhin erfolgreiche Planung und Umsetzung exzellenter Ingenieurbauleistungen sind die Ansprüche europäischer Digitalisierungsstrategien hinsichtlich Datenschutz, Privatsphäre, Urheberrecht und Qualität sehr wichtig. Sie ermöglichen es dem kleinstrukturierten Mittelstand, in Planung und Bauausführung weiterhin innovativ am Markt erfolgreich zu bleiben. Letztlich ermöglicht dies eine sehr spezifische und trotzdem valide Gestaltung der Ingenieurbaukunst und der Baukultur.

Literatur

- [1] Fischer, Günther: *Alte Baukunst und Neue Architektur*. Birkhäuser, 2018.
- [2] Maeda, John: *Laws of Simplicity*. MIT Press, 2006.
- [3] Lindemann, Udo: *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methodenflexibel und situationsgerecht anwenden*. Springer, 2004.
- [4] Schmid, Fabian: *Methodisches Gestalten und systematisches Entwickeln am Beispiel zukünftiger Fassadenlösungen*. Springer Vieweg, 2015.
- [5] Handwerkskammer Erfurt, *Abschlussbericht: Auswirkungen der Digitalisierung auf das Handwerk*, Januar 2018.
- [6] ScaleIT Forschungsprojekt, *Abschlussbericht*: https://www.microtec-suedwest.de/images/pdf/ScaleIT_gemeinsamer_Abschlussbericht_public.pdf [abgerufen: 30.11.2020].
- [7] Schmid, Fabian; Marinitsch, Stefan; Teich, Martien and Timm, Christoph: *Metal and Glass Grid-Shell Design: Flexible Integration of Digital Design and Fabrication Tools*. Proceedings of IASS Annual Symposia, IASS 2018 Boston Symposium: Shell structures, pp. 1-7(7), International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), 2018.
- [8] Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; and Niehaus, Jonathan. Eds. *Digitalisierung industrieller Arbeit: Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Nomos, 2015.
- [9] *Use Cases und Demos von DigitalTWIN*: <https://d-twin.eu/use-cases-demos> [abgerufen: 30.11.2020].
- [10] *buildingSMART International home of openBIM*. buildingSMART International Ltd., 2008–2019: <http://www.buildingsmart-tech.org> [abgerufen: 30.11.2020].
- [11] Gronwald, Klaus-Dieter: *Integrated Business Information Systems: A Holistic View of the Linked Business Process Chain ERP-SCM-CRM-BI-Big Data*. Springer, 2017.
- [12] Mouat, Adrian: *Docker – Software entwickeln und deployen mit Containern*. dpunkt.verlag, 2016.
- [13] Wolff, Eberhard: *Microservices: Grundlagen flexibler Softwarearchitekturen*. dpunkt.verlag, 2018.
- [14] Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian and Beetz, Jakob: *Building Information Modeling – Technology Foundations and Industry Practice*, Springer International Publishing, 2018: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3>.
- [15] Foster, Ian and Gannon, Dennis B.: *Cloud Computing for Science & Engineering*, 1st ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2017.

2.4 XR-Technologien im Bauwesen

Niklas Gard (Fraunhofer HHI), Sylvain Renault (Fraunhofer HHI), Ingo Feldmann (Fraunhofer HHI), Peter Eisert (Fraunhofer HHI), Gergey Matl (se commerce GmbH), Philipp Kopriwa (se commerce GmbH), Fabian Schmid (se commerce GmbH)

XR-Anwendungen in der Baubranche

Anwendungen der Extended Reality (XR) bieten die Möglichkeit, computergenerierte Inhalte und Informationen mit realen Umgebungen überlagert darzustellen. So hat die Unterstützung von komplexen Arbeiten mittels Einblenden von Informationen in das Sichtfeld des Nutzers durch die Entwicklung neuartiger XR-Brillensysteme und leistungsstarker Mobilgeräte deutlich an Bedeutung gewonnen und zahlreiche neue mögliche Einsatzbereiche in der Praxis geschaffen. Auch im Hinblick auf die Baubranche bieten diese neuen Technologien ein hohes Potenzial. [1] So ist der Prozess des Planens, Bauens und Betriebens von Bauwerken in hohem Maße von Abstimmungen, Bewertungen und Entscheidungen geprägt, bei denen die relevanten Informationen nicht immer situationsbezogen verfügbar sind. Zudem müssen diese aufwendig über Systemgrenzen hinweg transferiert und abgeglichen werden. In diesem Zusammenhang bieten XR-Anwendungen vollkommen neue Wege der Kommunikation und technischen Unterstützung, beispielsweise bei der Fertigung oder Montage auf der papierlosen Baustelle. Die Grundidee hierbei ist, dass brillenbasierte XR-Systeme zukünftig bspw. in das Schutzvisier eines Bauhelms integriert sein könnten und es Nutzern ermöglichen, zusätzliche Informationen (Planungsmodelle, Fertigungsanweisungen) in Überlagerung mit der realen Welt einzublenden. Zur Ferndiagnose kann auf diese Weise auch die Kommunikation mit Remote-Arbeitsplätzen erfolgen. In diesem Kontext werden im Folgenden zwei Forschungsszenarien aus dem Projekt DigitalTWIN vorgestellt, welche die große Tragweite zukünftig möglicher XR-Anwendungen am Beispiel des Fassadenbaus darlegen.

In das Schutzvisier eines Bauhelms integrierte XR-Systeme könnten es Nutzern ermöglichen, zusätzliche Informationen (Planungsmodelle, Fertigungsanweisungen) in Überlagerung mit der realen Welt einzublenden.

Ausgewählte Nutzungsszenarien im Bereich Fassadenbau

Szenario 1: AR-gestützte Montageassistentz

Bei der Konstruktion von Gitternetzschalenfassaden werden sphärische Freiformflächen aus Stahl und Glasbauteilen zusammengesetzt. Formbestimmend sind hierbei Stahlknotenelemente, die in Verbindung mit geraden Trägerelementen die Netzstruktur aufspannen. Stahlknoten werden in zahlreichen Variationen verbaut, die sich zum Teil nur geringfügig unterscheiden. Ihre Form ist zudem asymmetrisch, sie müssen also jeweils in fest vorgegebener Orientierung montiert werden.

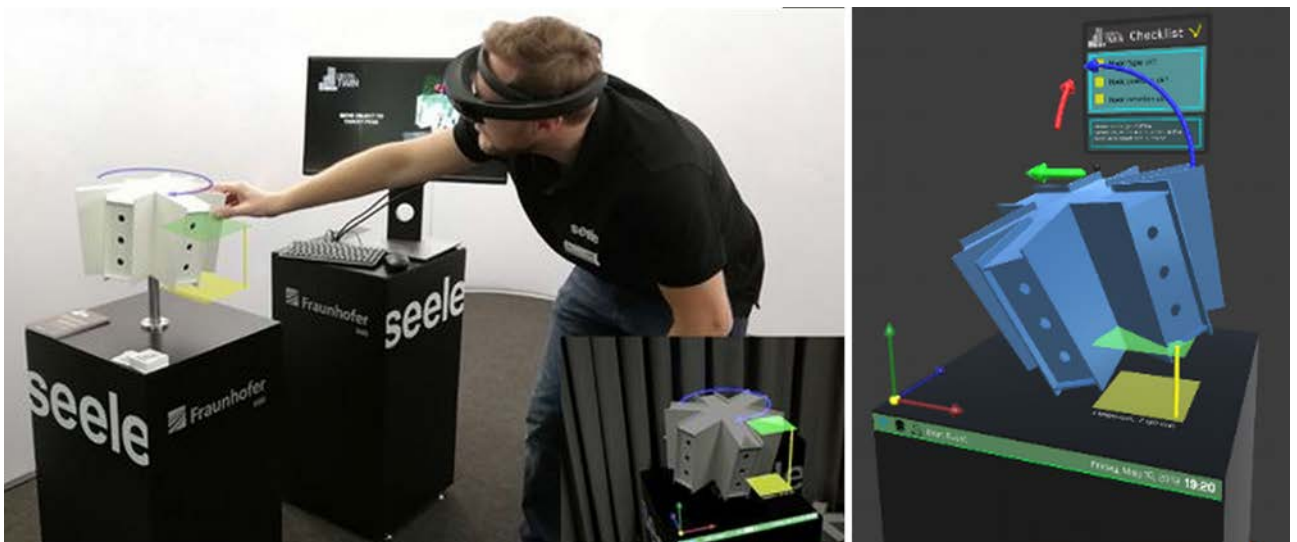


Abbildung 1: Prototyp für eine AR-gestützte Montageassistentz mit der MS HoloLens (Quelle: Fraunhofer HHI)

Im vorgestellten Szenario wird der Einsatz einer durch Augmented Reality (AR) unterstützten Montageassistentz zur Erleichterung der exakten Positionierung dieser Stahlknoten aufgezeigt. Ein zu montierender Stahlknoten wird dabei mit einer Kamera erfasst und mit dem zugrundeliegenden Bauplan abgeglichen. Während das Knotenelement bewegt wird, lassen sich Zusatzinformationen mittels virtueller Überlagerung direkt im Sichtfeld des Monteurs anzeigen. Im Beispiel in Abbildung 1 zeigt die AR-Brille Montagehinweise zur korrekten Positionierung des Stahlknotens an. Die nötige Verschiebung sowie Drehung des Stahlknotens wird durch Pfeile verdeutlicht. Durch die AR-Brille werden diese Pfeile mit dem realen Bauelement überlagert dargestellt, was in der Abbildung exemplarisch nachempfunden ist. Ist ein Objekt korrekt positioniert, kann diese Information nicht nur als Feedback in der Brille visualisiert werden, sondern auch in die Planungssoftware zurückgekoppelt werden, um den aktuellen Ist-Stand für andere Beteiligte abrufbar zu machen. Im BIM-System kann nun der nächste Montageschritt abgefragt werden. Eine automatische Objektidentifikation direkt im Sichtfeld erspart das manuelle oder handgerätbasierte Einlesen gedruckter und vor Ort positionierter Marker.

Die algorithmische Grundlage dieser Technologie liefert eine echtzeitfähige 2D-3D-Registrierungssoftware, die für ein sichtbares Objekt im Kamerabild die Pose (sechs Freiheitsgrade für Position und Drehung) durch einen Abgleich mit einem zugehörigen 3D-Modell bestimmt. Für farblich sehr gleichförmige (untexturierte) Objekte muss dieser Abgleich rein geometriebasiert ablaufen. Ein geeignetes Merkmal sind die Silhouetten- und Geometriekanten des Bauteils, die unabhängig von der Beleuchtungssituation im Kamerabild gut erkennbar sind. Zur Verfolgung der Bewegung des Bauteils wird ein markerloser Trackingalgorithmus verwendet, der auf dem Prinzip der Analyse durch Synthese beruht [2,3]. Hierbei wird der Abstand der computergrafisch erzeugten Projektion der Kanten des Modells zu den Bildkanten über die Anpassung der Objektpose minimiert. Eine Optimierung nach der IRLS-Methode (Iteratively Reweighted Least Squares) stabilisiert das Verfahren bei Verdeckungen, z. B. durch Hände. Das Trackingframework erlaubt zudem die Integration von erweiterten Bewegungsmodellen, z. B. spezialisiert auf den Einsatz in projektorbasiert AR-Systemen, bei denen Informationen mit einem Projektor direkt auf die Bauteiloberfläche projiziert werden und keine Brille erforderlich ist. Die Projektion, die im klassischen Fall ein Störsignal für die Registrierung wäre, wird dabei direkt in den Trackingalgorithmus eingebettet. [4] Um Zusatzinformationen bereitstellen zu können, muss das Bauteil zunächst im Kamerabild erkannt und bezüglich Lage und Drehung initialisiert werden. Dies geschieht automatisch zu Beginn der Montage. Im vorliegenden Fall wurde dazu ein Convolutional Neural Network verwendet, das mit einer hohen Anzahl von Bildern sowie den zugehörigen Instanz-Segmentierungen und Objektposen trainiert wurde, um diese Information anschließend aus Bildern herleiten zu können. Eine manuelle Aufnahme und Annotation dieser Trainingsdaten wäre sehr aufwendig und unflexibel. Stattdessen wurden deshalb die zu identifizierenden CAD-Modelle aus der Planungssoftware genutzt, um die Trainingsdaten synthetisch mittels Computergrafik zu erzeugen und diese perfekt annotierten Daten im Trainingsprozess einzusetzen. Der Unterschied zwischen realen und synthetischen Bildern, auch als Domain Gap bezeichnet, wird durch variantenreiche randomisierte Bestimmung von Objekttextur, Szenenbeleuchtung und Hintergrund reduziert [5].

Das vorgestellte System wurde prototypisch in einem Demonstrator umgesetzt (siehe Abbildung 1). Die Registrierungsergebnisse aus dem Kamerabild einer stationären Kamera werden kontinuierlich an die AR-Applikation gesendet, die mit der Game Engine Unity implementiert wurde und auf der Microsoft HoloLens implementiert ist. Das AR-Headset mit integrierter Raumregistrierung sowie die stationäre Kamera sind in einem gemeinsamen Koordinatensystem lokalisiert, sodass die Visualisierung im gleichen Bezugsraum erfolgen kann, in dem auch der Abgleich mit der Referenzpose des Bauteils stattfindet. Dreidimensionale Überblendungen zeigen im Sichtfeld des Nutzers die auszuführende Dreh- und Bewegungsrichtung des Bauteils an und erleichtern die Montage. Das entwickelte XR-Framework bietet hierzu verschiedene interaktive Werkzeuge (Rotationshinweise, Abstandsangaben mit Ist-Soll-Werten), die sich anwendungsspezifisch kombinieren lassen. Die für die Arbeit des Monteurs notwendigen Informationen (Metadaten, Zustand, Ergebnisse) werden auf einer virtuellen Tafel angezeigt, die immer zu ihm ausgerichtet ist, unabhängig davon, aus welcher Perspektive das Objekt betrachtet wird.

Szenario 2: AR-gestützte Wartung von Fassadenelementen

Das zweite Beispiel-Szenario bezieht sich auf die Wartung moderner und komplexer Fassadenelemente, bestehend aus luftdichten ISOshade-Glaskomponenten der Firma seele (siehe Abbildung 2, links). Diese Elemente bedürfen einer expliziten Wartung und Steuerung im Betrieb, damit das Gebäude optimal und energieeffizient funktioniert. Ein Betreiber vor Ort kann sich mittels einer AR-Brille einerseits Echtzeit-Zusatzinformationen der einzelnen Fassadenelemente überlagert zur realen Welt einblenden. Dies betrifft beispielsweise Sensordaten, wie Luftfeuchtigkeit, Temperatur oder Luftdruck. Andererseits kann er aktiv durch Handgesten die Fassadenelemente steuern, beispielsweise die Rollläden öffnen oder schließen.

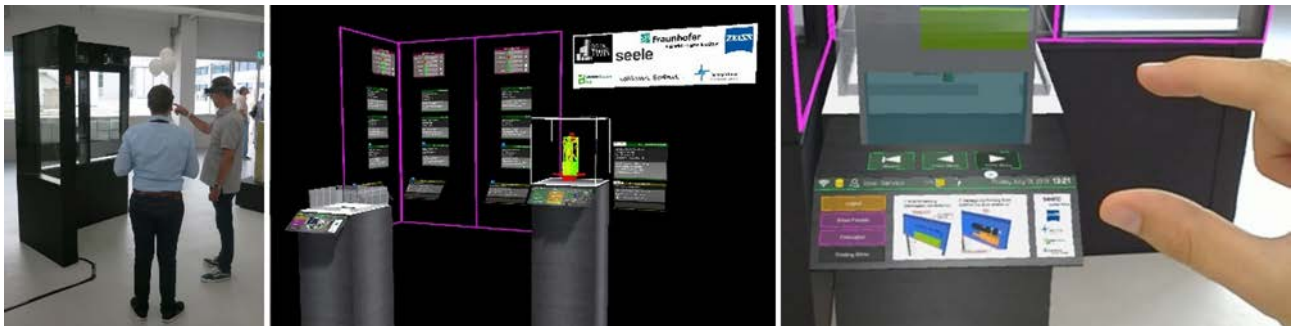


Abbildung 2: Prototyp für AR-gestützte Nutzerführung am Beispiel von Fassadenelementen (Links: Demonstratoraufbau, Mitte: Darstellung der AR-Szene in Unity, rechts: AR-Overlay-Szene der MS HoloLens – hier 3D-Anleitung) (Quelle: Fraunhofer HHI)

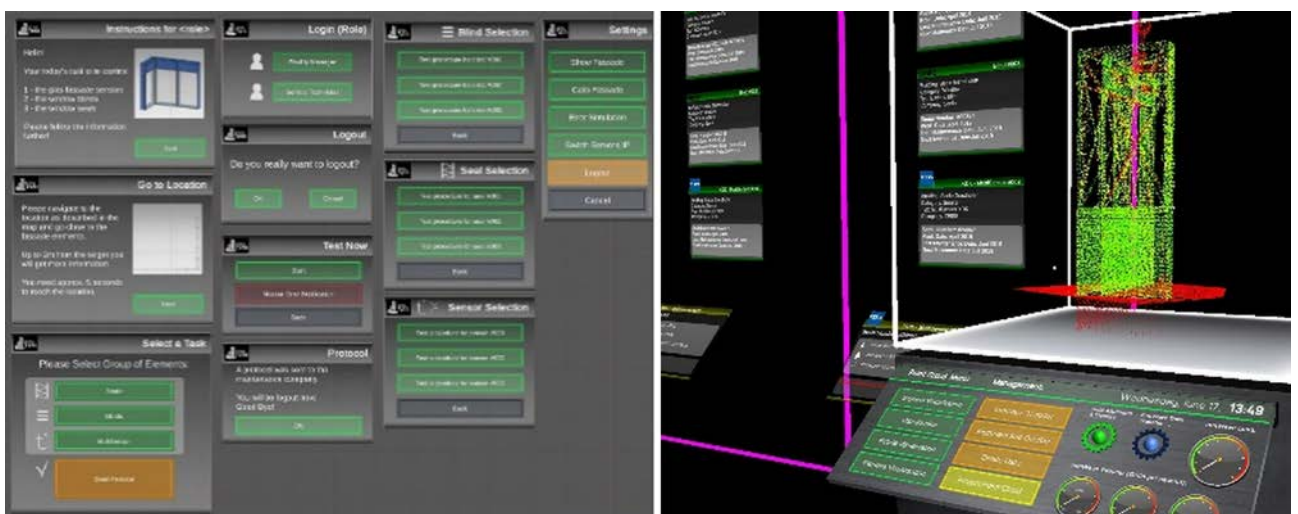


Abbildung 3: Links: Entwickeltes Userinterface für die unterschiedlichen Arbeitsabläufe, rechts: Interaktion mit virtuellen Inhalten (Quelle: Fraunhofer HHI)

Dazu meldet sich der Benutzer mit seiner Rolle (bspw. als Hausmeister oder Techniker) am AR-System an. Eine auf dem Sensor der HoloLens basierende Gestenerkennung erlaubt die direkte Steuerung der Fassadenelemente aus der virtuellen Umgebung heraus (siehe Abbildung 2, rechts). Im realen Betrieb wird der Mitarbeiter über ein 3D-Menüsystem (Dialogfenster mit grafischen AR-Elementen, siehe Abbildung 3) kontinuierlich begleitet, sodass er sich seiner Aufgabe gezielt widmen und direkt vor Ort die Fensterelemente beurteilen und das Wartungsprotokoll abarbeiten kann. Die technische Basis des Systems ist ein 3D-Erfassungssystem, das einen 3D-Scan der realen Fassadenelemente mit den im Bauplan vorgesehenen Modellen abgleicht. Differenzen zwischen Scan und Modell werden farblich markiert (siehe Abbildung 3, rechts). Weitere Modelldaten, z. B. für virtuelle Anleitungen, kommen aus einer zentralen CAD-Datenbank. Im XR-Framework wurden speziell zu den Arbeitsprozessen des Bauwesens und weiteren notwendigen Daten diverse grafische Elemente entwickelt. Das betrifft beispielsweise (a) einen Wartungsplan mit Protokoll (Kontrolle der Sensoren, der Rollläden, der Dichtungen), (b) Tafeln zur Anzeige von Zuständen aus der Ferne (Ampelfarbe als Zustand) und aus der Nähe (detaillierte Werte) sowie (c) einen multifunktionalen Cyber-Desk für den Lageplan, der die Montageanleitung oder Darstellung der detaillierten Bauteile beinhaltet (siehe Abbildung 4). Die UI-Komponente und 3D-Werkzeuge aus dem Framework lassen sich leicht erweitern und in anderen Szenarien einsetzen.

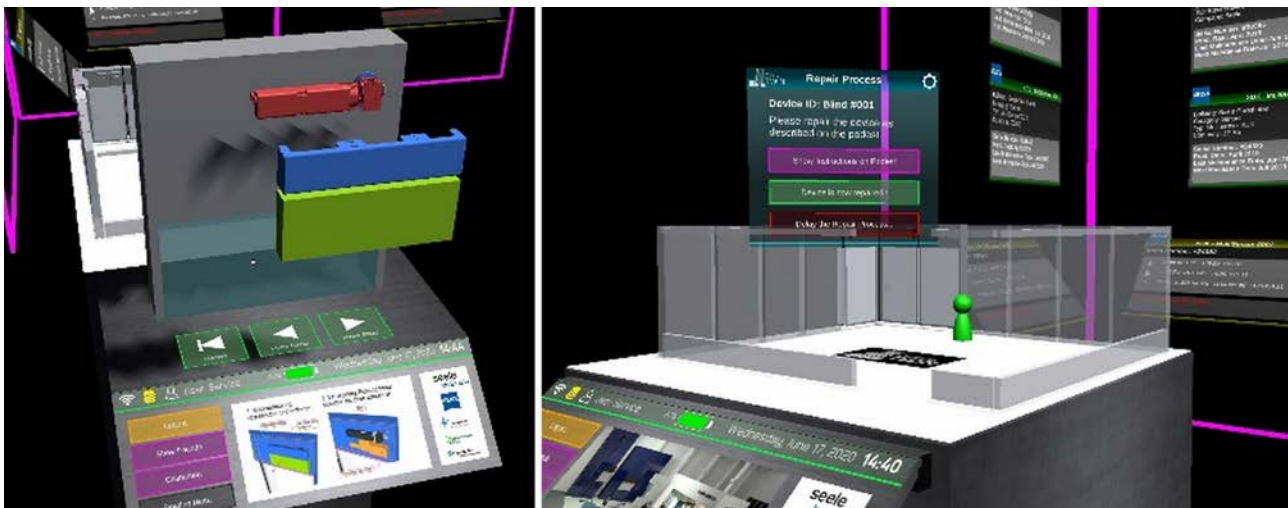


Abbildung 4: Links: Entwickelte virtuelle 3D-Anleitung zum Austausch von mechanischen Teilen, rechts: virtueller Etagenplan mit Eigenposition in AR (Quelle: Fraunhofer HHI)

Für den Zugriff auf die Sensordaten oder die diversen Geometrie-Modelldaten aus den Applikationen heraus (CAD-Daten, Erfassungsdaten, Point-Clouds) dient hier ebenfalls die entwickelte Middleware, die auch als flexible Schnittstelle zwischen unterschiedlichen Anwendungsmodulen fungiert und unterschiedliche Protokolle und Formate handhaben kann. So werden etwa die geometrischen Daten des digitalen Zwillings (hier: die Fassadenelemente) über eine REST-API abgefragt, die realen Sensordaten über das industriennahe MQTT-Format, die Steuerung der mechanischen Bauteile (z. B. Fensterrollläden) über HTTPS-Requests und die Meta-Daten mit Gerätenamen, Versions- und Wartungsangaben über eine MongoDB-Datenbank im JSON-Format. Die Kommunikation zwischen AR-Diensten, AR-Apps und der Frontend-Web-App geschieht über Web-Sockets. Über deren Nach-



Abbildung 5: Links: Entwickelte Tafeln zur Darstellung der Sensorwerte, rechts: aktive Tafeln mit Sensorzuständen im AR-Raum (Quelle: Fraunhofer HHI)

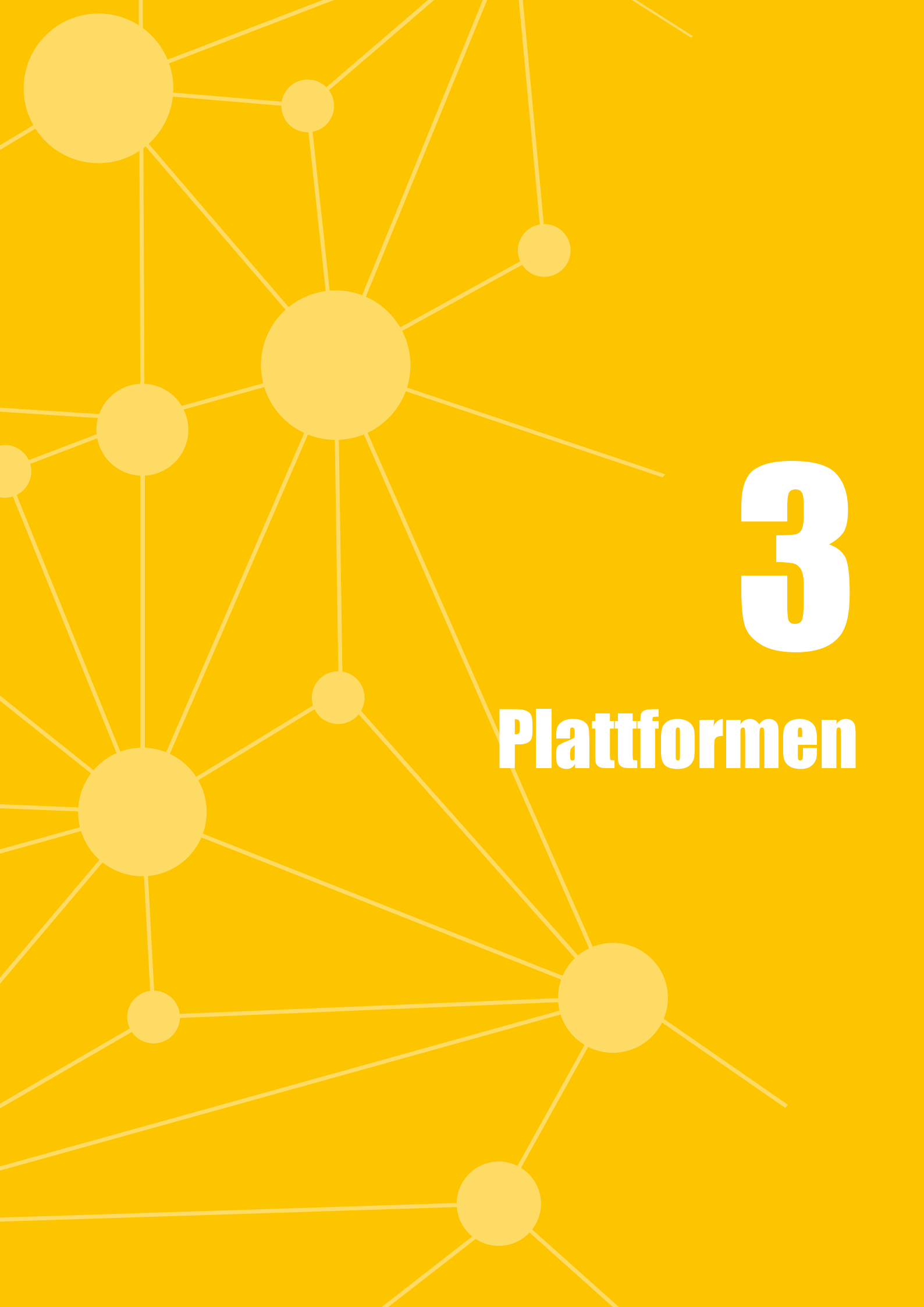
richtensystem können Visualisierungen in der virtuellen Umgebung in Echtzeit (siehe Abbildung 5) durchgeführt werden. Auch aufwendige Datensätze werden über die 5G-Technologie übertragen.

Fazit

Im vorliegenden Beitrag wurden zwei Szenarien beschrieben, die eine Nutzung von XR-Technologien im Bauwesen exemplarisch aufgezeigt. Das im Einzelfall immer komplexe Zusammenspiel der unterschiedlichen technologischen Grundbausteine wurde in prototypischen Demonstratoren implementiert und erfolgreich getestet. Die dargestellten Technologien weisen einen Weg für mögliche zukünftig kommerziell verfügbare Produktlösungen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Möglichkeit einer direkten Überlagerung von virtuellen Informationen mit der realen Welt ein enormes Potenzial für zukünftige Prozesse auf einer papierlosen Baustelle bietet. Das Forschungsprojekt DigitalTWIN konnte in diesem Zusammenhang die Tragweite dieser Technologien verdeutlichen, was sich in unterschiedlichste Prozesse des Planens, Bauens und Betriebens von Bauwerken fortsetzen lässt. Die vollkommen neuen Kommunikationsarten, die XR-Technologien bieten, lassen in der nahen Zukunft eine Vielzahl neuer Anwendungsgebiete erwarten.

Literatur

- [1] Schmid, Fabian; Marinitsch, Stefan; Teich, Martien and Timm, Christoph: Metal and Glass Grid-Shell Design: Flexible Integration of Digital Design and Fabrication Tools. Proceedings of IASS Annual Symposia, IASS 2018 Boston Symposium: Shell structures, pp. 1-7(7), International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), 2018.
- [2] Gard, Niklas; Eisert, Peter: Markerless Closed-Loop Projection Plane Tracking for Mobile Projector Camera Systems, Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Athens, Greece, Oct. 2018.
- [3] Seibold, Clemens; Hilsmann, Anna; Eisert, Peter: Model-Based Motion Blur Estimation for the Improvement of Motion Tracking, in Computer Vision and Image Understanding, vol. 160, pp. 45-56, July 2017.
- [4] Gard, Niklas, Hilsmann, Anna, and Eisert, Peter: Projection Distortion-based Object Tracking in Shader Lamp Scenarios, in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 25(11), pp. 3105–3113, Nov. 2019.
- [5] Tremblay, Jonathan; To, Thang; Sundaralingam, Balakumar; Xiang, Yu; Fox, Dieter; Birchfield, Stan: Deep object pose estimation for semantic robotic grasping of household objects, Proceedings of The 2nd Conference on Robot Learning, pp. HYPERLINK „tel:306316“306–316, PMLR, 2018.



3

Plattformen

3 PLATTFORMEN

3.1 Plattformtechnologien zur Unterstützung der digitalen Transformation im Mittelstand

Philipp Kopriwa (se commerce GmbH), Felix Kremp (planen bauen 4.0 GmbH), Arnd Menschig (Carl Zeiss 3D Automation GmbH), Fabian Schmid (se commerce GmbH)

Die Digitalisierung ermöglicht neue Geschäftsmodelle und beeinflusst manche Branchen durch disruptive Veränderungen. Mit Cloud-Computing-Technologien ist eine wesentliche Basis für diese Entwicklungen entstanden, die auch bei verschiedenen Anwendungsfeldern im Bauwesen unterstützen können. [1] Es zählen nicht nur digitale Werkzeuge, die während des Bauprozesses zum Einsatz kommen, zu Treibern der digitalen Transformation. Größere Relevanz haben die eingesetzten Softwaretechnologien, die eine flexible, schnelle und umfassendere Vernetzung und Automatisierung in Gebäudelebenszyklen und für die Verantwortlichen ermöglichen. Für das Bauwesen sind Szenarien für die wesentlichen Phasen des Gebäudebetriebs, aber auch für die Planung und Ausführung sowie für die Montage auf der Baustelle interessant. Hierbei können Cloud-Technologien zur Steigerung der Flexibilität und einfachen Skalierbarkeit von Anwendungen eingesetzt werden. Dieser Beitrag beschreibt die Grundlagen von Cloud-Computing, setzt sie in Bezug zu Vorteilen und Herausforderungen beim Einsatz in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) des Handwerks und gibt einen Ausblick auf aktuelle Erkenntnisse aus Forschungsprojekten. Zudem wird die Relevanz von Microservice-Technologien thematisiert, die neue Möglichkeiten hinsichtlich Effizienzsteigerung für Softwareentwickler in Unternehmen bieten.

Plattformtechnologien im Bauwesen

Bei Cloud-Computing handelt es sich um die dezentrale Bereitstellung von Speicher- und Datenkapazitäten, Rechenleistung, Anwendungen und IT-Infrastruktur. Dienstleistungen wie Softwareanwendungen, die von einer Vermittlerinstanz bereitgestellt werden, können von Nutzern, die z. B. eine Unternehmens-IT repräsentieren, flexibel in Anspruch genommen werden. Hardwareleistung kann im Cloud-Computing nach Bedarf skaliert werden. Die hohe Flexibilität erzielt die Technologie unter anderem durch unterschiedliche Bezugs- und Servicemodelle, die in den folgenden Abschnitten ausgeführt werden.

Public-Cloud-Dienstleister stellen ihre Dienste für Personen oder Unternehmen gegen Bezahlung öffentlich über das Internet zur Verfügung. [2] Die Daten und Anwendungen von unterschiedlichen Nutzern können dabei auf demselben Server gehostet werden, sind virtuell aber voneinander getrennt. Die Datenschutzbedingungen sind in den Verträgen zwischen den Anbietern und den Kunden festgeschrieben. In Private-Cloud-Szenarien betreiben die Organisationen hingegen typischerweise selbst oder durch Unterstützung von Dienstleistern die Cloud-Umgebung hinter einer Unternehmensfirewall. [3] Der große Vorteil dieser Lösung ist, dass die Datenhoheit bei den Unternehmen selbst liegt, wodurch Firmen ihr Know-how maximal geschützt sehen können und ein hoher Einfluss auf die Zuverlässigkeit des Systems gegeben ist. Für den Einsatz von Private Clouds werden Ideen des Cloud-Computing adaptiert, wie z. B. für die Bereitstellung von Softwarediensten von Entwicklern für Montagemitarbeiter. Ein drittes Konzept für Cloudbezugsmodelle stellen hybride Ansätze dar, bei denen es sich um eine Mischform zwischen Public und Private Cloud handelt. Dabei können Dienste der eigenen Private Cloud um Anwendungen von Public-Cloud-Anbietern erweitert oder die Infrastruktur zur schnellen, einfachen Skalierung der eigenen Services adaptiert

werden. Welches Bezugsmodell letztendlich gewählt wird, sollte dabei in Abhängigkeit der eigenen Tätigkeit, der strategischen Entwicklung des eigenen Unternehmens sowie des Schutzes von Kern-Know-how entschieden werden.

Durch Cloud-Computing ist es möglich, Anwendungen, Plattform und Infrastruktur für die eigenen Bedürfnisse zur Verfügung zu stellen oder zu nutzen. Die drei Servicemodelle dafür stammen aus dem „Everything as a Service“-Ansatz (auch XaaS), der für die beschriebene Flexibilität sorgt. Gerade bei kleinen Handwerksunternehmen oder KMUs können sogenannte „Software as a Service“-Modelle (SaaS) einen Mehrwert bieten. [4] Bei diesem Modell erfolgen die Bereitstellung sowie die Wartung von vollständigen Anwendungsprogrammen durch einen Drittanbieter. Beim „Plattform as a Service“ (PaaS) hingegen werden den Kunden, bei denen es sich z. B. um Softwareentwicklungsabteilungen in Organisationen handeln kann, sowohl Programmier- und Laufzeitumgebungen, Betriebssystem, Hosting als auch Module zur Datenverschlüsselung vom Dienstleister zur Verfügung gestellt. Das dritte Modell ist das „Infrastructure as a Service-Modell“ (IaaS), das den Nutzungszugang von Rechenkapazität, Netzwerk, virtualisierter Hardware und Speicher beschreibt. Im Rahmen dieses Modells ist der Kunde für die Inbetriebnahme und Wartung von Betriebssystem und Software selbst zuständig.

Cloud-Computing-Lösungen für KMU und Handwerksbetriebe

Für Handwerksbetriebe besteht oft die primäre Anforderung, dass die alltäglichen Arbeiten zur Gewerkerstellung, Auftragsabwicklung, Dokumentation und Administration durch Softwareanwendungen und digitale Werkzeuge so einfach wie möglich unterstützt werden. [5] Vor allem Lösungen aus dem SaaS-Modell generieren einen Mehrwert für Handwerksunternehmen. Vorteile, die sich durch den Einsatz von Software aus dem Cloud-Umfeld ergeben, sind unter anderem, dass keine aufwendige Installation notwendig wird, kollaboratives Arbeiten mit anderen Handwerksbetrieben möglich wird und Daten von zwei unabhängigen Bearbeitern nicht doppelt gepflegt werden müssen, da auf einer gemeinsamen Datenbasis gearbeitet wird. Allerdings birgt es auch Risiken, denn tritt beispielsweise eine Internetstörung auf, ist der Zugriff auf die Software kurzzeitig nicht gegeben. Abhilfe schaffen im Notfall aber andere Übertragungswege in das Internet, wie z. B. der Weg über das Mobilfunknetz. [6] Auch das Thema Datenschutz ist zu beachten. Hier gilt es für den Handwerker, die Datenschutzverträge des Anbieters sorgfältig zu überprüfen. Es kann sich dabei als vorteilhaft erweisen, die Verantwortung für den Betrieb an einen Cloudbetreiber abzugeben, statt in Eigenverantwortung Lösungen zu erarbeiten. Aber mit diesem Vertrauen ist auch das Risiko des Datendiebstahls durch Hackerangriffe verbunden. Das Sicherheitsniveau bei Cloud-Dienstleistern ist jedoch oft höher als bei KMU oder kleinen Handwerksbetrieben. [7] Des Weiteren gibt es in Hinblick auf das Thema Vertrauen zu bedenken, dass Cloud-Dienstleister wie Softwareanbieter mit den Daten der Unternehmen neue Geschäftsmodelle entwickeln können, die dem eigenen Geschäftsmodell schaden. In KMU wird die Digitalisierung jedoch über die Nutzung von SaaS-Ansätzen hinaus angestrebt. Prozesse in der Fertigung sollen vereinfacht und möglichst automatisiert werden. Hierzu kann Software entwickelt und eingesetzt werden, die an die Abläufe und Prozesse des Unternehmens angepasst ist. Da Prozesse durch Fertigungsmaschinen unterstützt werden, ist deren Anbindung und Vernetzung für die Aggregation und Auswertung von Daten möglichst in Echtzeit notwendig. Flexible Softwarelösungen, mit denen Systeme für Datenauswertung verbunden, Anwendungen von Drittanbietern über Schnittstellen integriert und die nach Bedarf skaliert werden können, lassen sich über das PaaS-Modell in den Unternehmen bereitstellen.

Cloud-Software als Motor der Digitalisierung im Bauwesen

Cloudbasierte Software hat aufgrund der Unterstützung bei der Automatisierung von Vorgängen am Digitalisierungsprozess innerhalb der Unternehmen mittlerweile einen hohen Einfluss und gilt daher als einer der Motoren der Digitalisierung. Der Grund hierfür ist, dass Cloud-Software nicht nur einfach skaliert werden kann und es ermöglicht, Abhängigkeiten zwischen Systemen zu verringern, sondern auch so flexibel ist, dass sie an die Bedürfnisse von Unternehmen angepasst werden kann. Eines der wichtigsten Konzepte für flexible, unabhängige Softwarebestandteile ist der Micro-service-Ansatz.

Bei der Entwicklung von Microservices erstellen Softwareentwickler eine einzelne Anwendung aus leichtgewichtigen Bausteinen kleiner Services. Im Gegensatz zu monolithischen Anwendungen sind diese Bausteine weniger verknüpft, weshalb die Bereitstellung in Änderungszyklen schneller erfolgen kann. [8] Ebenso sind diese Module durch sogenannte Separation of Concerns, also die Trennung von Softwaresystemen in Teillösungen, leichter zu warten als monolithische Anwendungen. Im Rahmen des Forschungsprojektes DigitalTWIN wurden Microservices erstellt, um wiederverwendbare Softwarekomponenten für unterschiedliche Anwendungsszenarien entlang des Gebäudelebenszyklus und durch kompatible BIM-, XR- und Industrie-4.0-Dienste in Einsatz zu bringen.

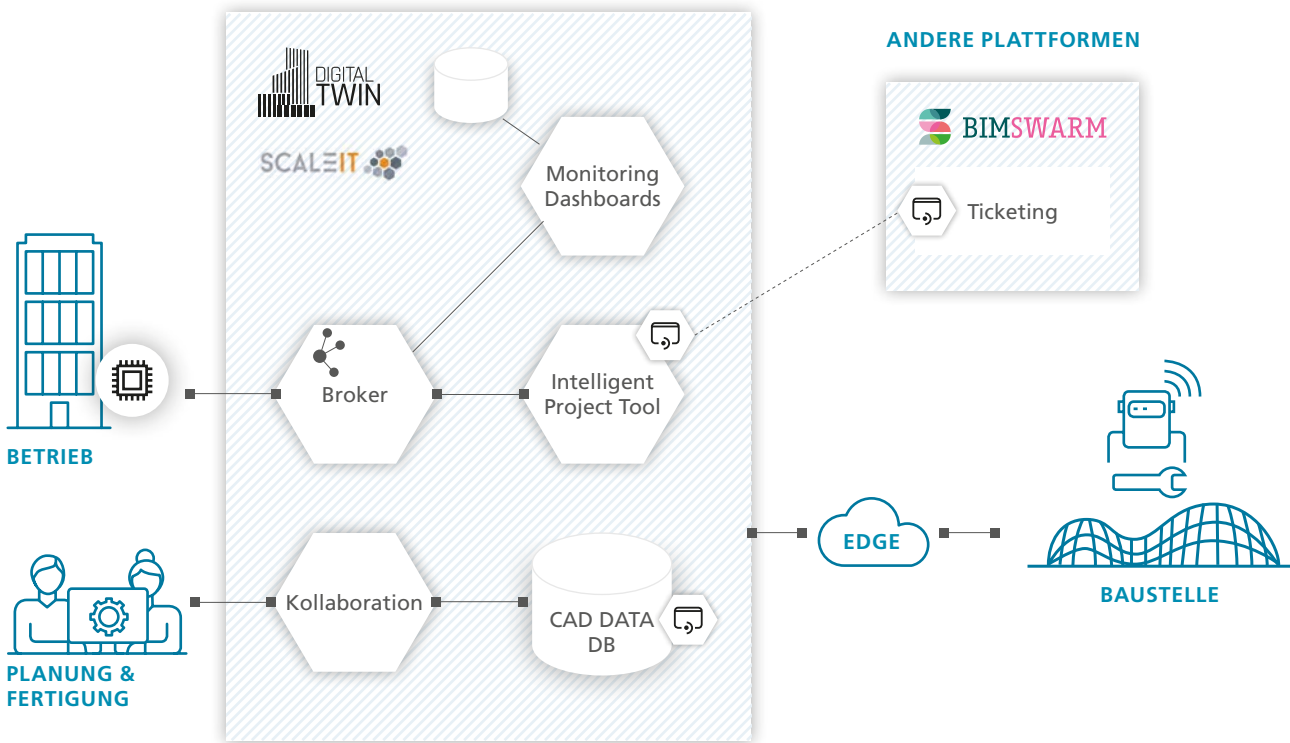


Abbildung 1: DigitalTWIN-Plattformszenarien (Quelle: seele, P. Kopriva)

Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, handelt es sich bei den Entwicklungen im Projekt um Anwendungsfelder in den Bereichen Gebäudebetrieb, Planung und Fertigung sowie Einsatz digitaler Werkzeuge auf der Baustelle. In der Planung und Fertigung kommen Plattformtechnologien für den bidirektionalen Austausch von Modelldaten zwischen Planer und Fertiger zum Einsatz. Der Vorteil des konzipierten Workflows ist, dass Planer und Fertiger ihre Modelldaten von Gitterschalenkonstruktionen in ihrem benötigten Level of Detail (LoD) auf die Plattform einspielen können, um so Änderungen auszutauschen, ohne dass die jeweils andere Seite aufgrund des unterschiedlichen LoD Modelle von Neuem aufbauen muss. Auf der Plattform werden dazu moderne Datenbanktechnologien und Schnittstellen verwendet, um große Modelldaten zu speichern und den Detail-

**Mit modernen Softwaremethoden
wie Microservice-Architekturen
lassen sich die Entwicklungszyklen
für innovative Softwarelösungen
verkürzen.**

lierungsgrad zu filtern. Es müssen dabei nicht alle Daten zu Bauteilen in einer einzelnen Datenbasis vorliegen und abgespeichert werden, sondern diese Daten können flexibel über eindeutige Identifikatoren (IDs) aus anderen Systemen referenziert werden. Daten, die im Planungsprozess entstanden sind – wie z. B. Verbauort der Teile, Toleranzen und 3D-Informationen – sind für die Verwendung auf der Baustelle notwendig. Durch den Einsatz von AR-Geräten wird der planmäßige Einbau von Bauteilen, z. B. durch die Einblendung von Montageanweisungen unterstützt

und anhand der vorgegebenen Toleranzbereiche überwacht. Ein Handwerker, der mit dem Einbau vertraut wird, nutzt die CAD-Daten der Cloud auf der Baustelle, um den richtigen Einbau mithilfe eines interaktiven Modells, das bei aufkommenden Fragen Hilfestellung leistet, zu erzielen. Der Mitarbeiter des Qualitätswesens nutzt die Modelldaten der Cloud ebenfalls, jedoch um den ordnungsgemäßen Einbau abzugleichen. Synchronisierungen zwischen Baustellen-Edge Cloud für Offlineszenarien (siehe Kapitel 2.2) und Cloud-Servern werden mithilfe von Methoden aus dem Big-Data-Umfeld umgesetzt. Hierbei wird beispielsweise Apache Kafka als Messagebroker eingesetzt, um einen Austausch von Nachrichten zwischen verschiedenen Systemen zu ermöglichen. In Use Cases, die den Gebäudebetrieb betreffen, wurden Microservices eingesetzt, die den digitalen Zwilling von Gebäudefassadenelementen durch die verbaute Sensorik im Inneren darstellen. Daten aus diesen IoT-Geräten werden dabei über das MQTT-Protokoll kabelgebunden und funkbasiert zu den Monitoring-Dashboards sowie entsprechenden Datenbanksystemen übertragen. Durch die Verwendung von Containertechnologien und Microservices können die gewählten Datenbanktechnologien auf der Plattform nach dem Ansatz der polyglotten Persistenz, der den Einsatz von verschiedenen Datenspeichertechnologien für unterschiedliche Anforderungen beschreibt, genau auf die Verwendung im jeweiligen Szenario zugeschnitten werden. [8] Zudem wurde im Rahmen des Forschungsprojektes die Interoperabilität mit anderen Plattformen aus dem Bauwesen demonstriert. Bei Grenzwertüberschreitung von Sensormessdaten der Fassadenelemente wird ein Ticket im intelligenten Projektmanagementwerkzeug auf der DigitalTWIN-Plattform ausgelöst und gleichzeitig an die API-Schnittstelle eines Ticketing-Systems bzw. eines CAFM-Systems auf der BIMSWARM-Plattform übermittelt. [9] Während der Bearbeitung des Tickets wird der Fortschritt in Form von Statusinformationen zwischen den beiden Systemen synchronisiert. Für die Übermittlung von Daten zwischen den Anwendungen auf der DigitalTWIN-Plattform mittels REST-API oder über Messagebroker wurden die ausgetauschten Nachrichten im JSON-Datenformat, die Schnittstellenendpunkte sowie die Broker-Topics standardisiert, um den Nachrichtenaustausch zwischen Plattformanwendungen untereinander zu erleichtern.

Cloud-Lösungen

KMU und Handwerker haben auf ihrem Weg in die Cloud unterschiedliche Auswahlmöglichkeiten für Cloud-Anbieter. Als Erstes müssen Entscheidungen darüber getroffen werden, wo Daten und Anwendungen liegen sollen und ob sie über das Internet erreichbar gemacht werden sollen. Bekannte Public-Cloud-Lösungen sind z. B. Amazon Web Services (AWS), Google Container Engine (GCE) und Microsoft Azure. Es gibt aber entsprechend auch kleinere, national und regional tätige Anbieter, wie 1&1 IONOS Cloud GmbH, Strato AG oder TeleData GmbH. Wenn sich Unternehmen dafür entscheiden, Daten und Services On-Premises zu hosten und als Private Cloud verfügbar zu machen, gibt es Alternativen wie OpenShift von Red Hat oder VMware Pivotal Container Service (PKS). [10] Die im Forschungsprojekt verwendete On-Premises-Lösung von ScaleIT aus dem gleichnamigen Forschungsprojekt setzt als Technologie auf eine Docker-Infrastruktur mit dem Orchestrierungsframework Cattle. [11] Docker ist eine Containertechnologie, die es Entwicklern ermöglicht, Anwendungen und ihre Abhängigkeiten zu kapseln. Sie bildet damit auch die Grundlage für die erstellten Microservice-Architekturen. Somit dient ein Container als eine isolierte Instanz, ähnlich einer virtuellen Maschine (VM). [12] Das Cattle-Framework setzt auf Docker Compose, um Blaupausen für webbasierte Anwendungen zu definieren. Modulare Softwarebestandteile, die zusammen eine Softwareanwendung bilden, werden hierbei als sogenannte Stacks ausgeführt und sind über die Benutzeroberfläche Rancher vom jeweiligen Plattformbetreiber administrierbar. ScaleIT ist auf den Einsatz in Offline-Szenarien auf dem Hallenboden ausgelegt und bietet eine Umgebung wie PaaS-Dienstleister für Entwickler, die SaaS für das Unternehmen entwickeln. ScaleIT übernimmt Aufgaben wie Sicherheit, Bereitstellung des Betriebssystems, Container-Entwicklungsumgebung und Bereitstellung von Anwendungen über einen App-Store für die One-Click-Installation und die Container-Orchestrierung über Rancher. [13] ScaleIT ermöglicht den Entwicklern damit die schnelle Bereitstellung von Software für die niederschwellige Digitalisierung. Bei der Wahl zwischen Public oder Private Cloud spielen die Kosten eine Rolle, denn die Wartung einer Private Cloud muss durch das Unternehmen selbstständig geplant werden und erfolgt durch einen IT-Spezialisten, wodurch regelmäßig Kosten anfallen. Public Clouds werden dagegen vom Anbieter auf dem neuesten Stand gehalten, was bereits in den Nutzungsgebühren einkalkuliert ist. Die Verwendung von Private Clouds bietet im Gegensatz zu Public-Cloud-Ansätzen, die On-Premises gehostet werden, bessere Performance, da die Dienste im Unternehmensnetzwerk bereitgestellt werden. Zudem erhalten Nutzer von On-Premises Private Clouds eine höhere Kontrolle über die Konfiguration der Dienste und über das eigene Know-how, das in Form von unterschiedlichsten Daten gespeichert ist [14].

Fazit

Auf dem Weg bis zur Nutzung von Cloud-Technologien gibt es viel zu beachten, zugleich bietet die Entscheidung aber auch enorme Chancen für die digitale Weiterentwicklung und die Steigerung der Agilität bei KMU und kleinen Handwerksbetrieben. Der Einsatz von Cloud-Technologien verbessert die Kommunikation zwischen Mitarbeitern, Partnern und Kunden über Kollaborationsdienste und vermindert das Anwachsen von Datenmengen, weil Redundanzen mittels gemeinsam genutzter Datenbasen vermieden werden können. Mit modernen Softwaremethoden, wie Microservice-Architekturen und Ansätzen aus dem DevOps-Bereich (Development und IT Operations), lassen sich zudem die Entwicklungszyklen für Software-Releases, die dem Innovationsprozess in Unternehmen dienen, verkürzen. [15] Unternehmen und Handwerksbetriebe müssen bei ihrer Entscheidung abwägen, welcher Anbieter gewählt werden soll und mit welchem Service- und Bezugsmodell Cloud-Technologien das eigene Geschäft unterstützen sollen. Eine Beschäftigung mit Themen der digitalen Transformation sind hierzu für jedes Tätigkeitsumfeld unerlässlich, gerade weil es keine universelle Lösung für alle Bereiche gibt und je nach Kern-Know-how und Geschäftsmodell entsprechend differenziert werden muss.

Literatur

- [1] Frank, Roland, Schumacher, Gregor, and Tamm, Andreas: Cloud-Transformation: Wie die Public Cloud Unternehmen verändert. Springer-Verlag, 2019.
- [2] Meinel, Christoph, Willems, Christian, Roschke, Sebastian, and Schnjakin, Maxim: Virtualisierung und Cloud Computing: Konzepte, Technologiestudie, Marktübersicht. Universitätsverlag Potsdam, 2011.
- [3] Reinheimer, Stefan: Cloud Computing: Die Infrastruktur der Digitalisierung. Springer-Verlag, 2018.
- [4] Boettger, Markus: Cloud Computing richtig gemacht: Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von SaaS-Anwendungen: Am Beispiel eines hybriden Cloud-Ansatzes für Vertriebssoftware in KMU. Diplomica Verlag, 2012.
- [5] Maeda, John: The Laws of Simplicity. MIT Press, 2006.
- [6] Busch, Thomas: Handwerk 4.0: IT-Lösungen aus der Cloud. Handwerksblatt, 2017: <https://www.handwerksblatt.de/betriebsfuehrung/handwerk-4-0-it-loesungen-aus-der-cloud> [abgerufen: 17.12.2020].
- [7] Christmann, Constantin, Kett, Holger, Falkner, Jürgen, and Weisbecker, Anette: Marktstudie Cloud-Lösungen für das Handwerk. Fraunhofer Verlag, 2012.
- [8] Lewis, James and Fowler, Martin: Microservices: A definition of this new architectural term, 2014: <https://www.martinfowler.com/articles/microservices.html> [abgerufen: 17.12.2020].
- [9] Tulke, Jan: BIMSWARM Projektbeschreibung, 2020: <https://www.bimswarm.de/projektbeschreibung/> [abgerufen: 17.12.2020].
- [10] Reder, Bernd: Anwendungs-Container aus den Wolken Fazit und Übersicht über Plattformen. com! professional, 2019: https://www.com-magazin.de/praxis/business-it/anwendungs-container-wolken-1682331.html?page=3_fazit-und-uebersicht-ueber-plattformen [abgerufen: 17.12.2020].
- [11] ScaleIT Forschungsprojekt, Abschlussbericht: https://www.microtec-suedwest.de/images/pdf/ScaleIT_gemeinsamer_Abschlussbericht_public.pdf [abgerufen: 30.11.2020].
- [12] Mouat, Adrian: Docker – Software entwickeln und deployen mit Containern. dpunkt.verlag, 2016.
- [13] Miclaus, Andrei: ScaleIT Platform Documentation. scaleIT Konsortium, 2019: <https://readthedocs.org/projects/scaleit-platform-documentation/downloads/pdf/latest/> [abgerufen: 17.12.2020].
- [14] Krasteva, Veronika: Private vs Public Cloud: Pros and Cons. compositly blog, 2015: <https://compositly.com/blog/private-vs-public-cloud-pros-and-cons> [abgerufen: 30.11.2020].
- [15] Wolff, Eberhard: Continuous Delivery: Der pragmatische Einstieg. dpunkt.verlag, 2016.

3.2 Marktplatz für die Bau-IT-Branche

Olga Rimskaia-Korsakova (planen-bauen 4.0 GmbH), Michael Theiler (planen-bauen 4.0 GmbH)

Einleitung

Die Digitalisierung der Baubranche erfordert Standardisierung und Einsatz von miteinander kompatiblen IT-Produkten, die den Zusammenschluss verschiedener Teilnehmer (Bauherr, Projektentwickler, Architekt, Planer, Bauunternehmen, Betreiber) beim konsistenten Datenaustausch unterstützen. Jedoch stehen heutzutage für die verschiedenen Aufgaben im Rahmen von Bauprojekten häufig nur monolithische Softwareprogramme zur Verfügung, welche mit anderen Softwareprodukten gar nicht oder nur sehr begrenzt integriert werden können. Wenn die Beteiligten der Bauprojekte unterschiedliche Systeme verwenden, müssen das Zusammenspiel der Bau-IT-Produkte und die Organisation des Datenaustauschs immer wieder neu geregelt werden. Dies nimmt sehr viel Zeit in Anspruch, und Medienbrüche, manuelle Nacharbeiten, inkonsistente Planungsdaten oder veraltete Planungsstände sind kaum zu vermeiden (siehe Abbildung 1).

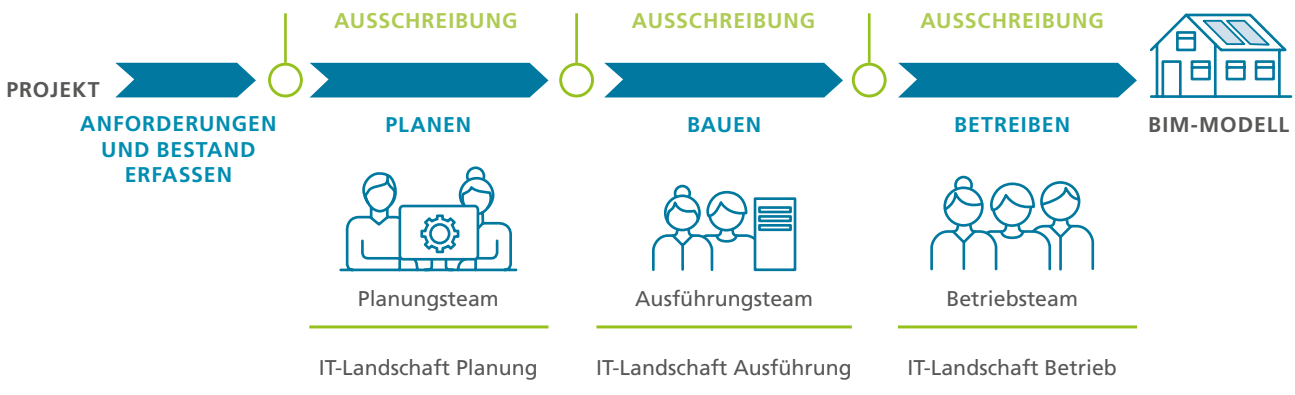


Abbildung 1: Typischer Bauprojekttablauf mit mehrfachen Datenbrüchen aufgrund von Team-, Datenformat- und IT-Produkt-Wechsel (Quelle: planen-bauen 4.0 GmbH)

Die Lösung zur Behebung dieser Herausforderung ist die Bereitstellung einer IT-Plattform für die Baubranche, die den Marktteilnehmern ermöglicht, die openBIM-Arbeitsmethode und offene Datenaustauschformate (Industry Foundation Classes, IFC, ifcXML; Construction Operations Building information exchange, COBie; Computer Added Facility Management CAFM-CONNECT; BIM Collaboration Format, BCF) einzusetzen.

Die Benutzung von Bau-IT-Produkten mit Unterstützung offener Datenformate ist insbesondere für kleine und mittlere Marktteilnehmer (KMU) sinnvoll, denn in diesem Fall können sie sich ohne Daten-, Zeit- und Qualitätsverluste in die projektübergreifenden Prozessabläufe ihrer Auftraggeber integrieren. Dabei sind die Kosten für den Erwerb solcher Tools nicht mehr von Marktmonopolisten diktiert und Projektteilnehmer bekommen Zugang zu konkurrenzfähigen Angeboten.

Ein wesentliches Element einer IT-Plattform für die Baubranche ist ein digitaler Marktplatz, in dem Bau-IT-Produktangebote (Anwendungen, Dienste und Kataloge) übersichtlich, einheitlich strukturiert, vergleichbar und transparent für die Anwender dargestellt sind.

Ein digitaler Marktplatz als verbindendes Element für Anbieter, Anwender und Zertifizierer

IT-Plattformen sind ein modernes Medium, um den Weg von Anbietern zu Anwendern deutlich zu verkürzen. In vielen Branchen, wie im Einzelhandel, im Tourismus, in der Mobilität, in der Gastronomie oder im Eventmanagement, existieren zahlreiche Plattformen, die diese Rolle erfüllen. Angefangen und groß geworden im Business-to-Consumer-Bereich (Amazon, Uber, Airbnb, Booking.com) gewinnen heutzutage IT-Plattformen einen immer größeren Marktanteil auch in Business-to-Business-Sektoren. Digitale Geschäftsmodelle entwickeln sich vom 1:1-Vertrieb zu einem Ökosystem-Modell, das die Rolle von Marktplätzen und Communitys unterstreicht. [1] Bis 2023 werden Organisationen, die seit mehr als einem Jahr Marktplätze betreiben, mindestens 10 Prozent Steigerung im Nettoumsatzvolumen erzielen. [2] Globale Wirtschaftsexperten erwarten, dass bis 2025 etwa ein Drittel aller Verkäufe weltweit über Ökosysteme einschließlich digitaler Marktplätze stattfinden wird. [3]

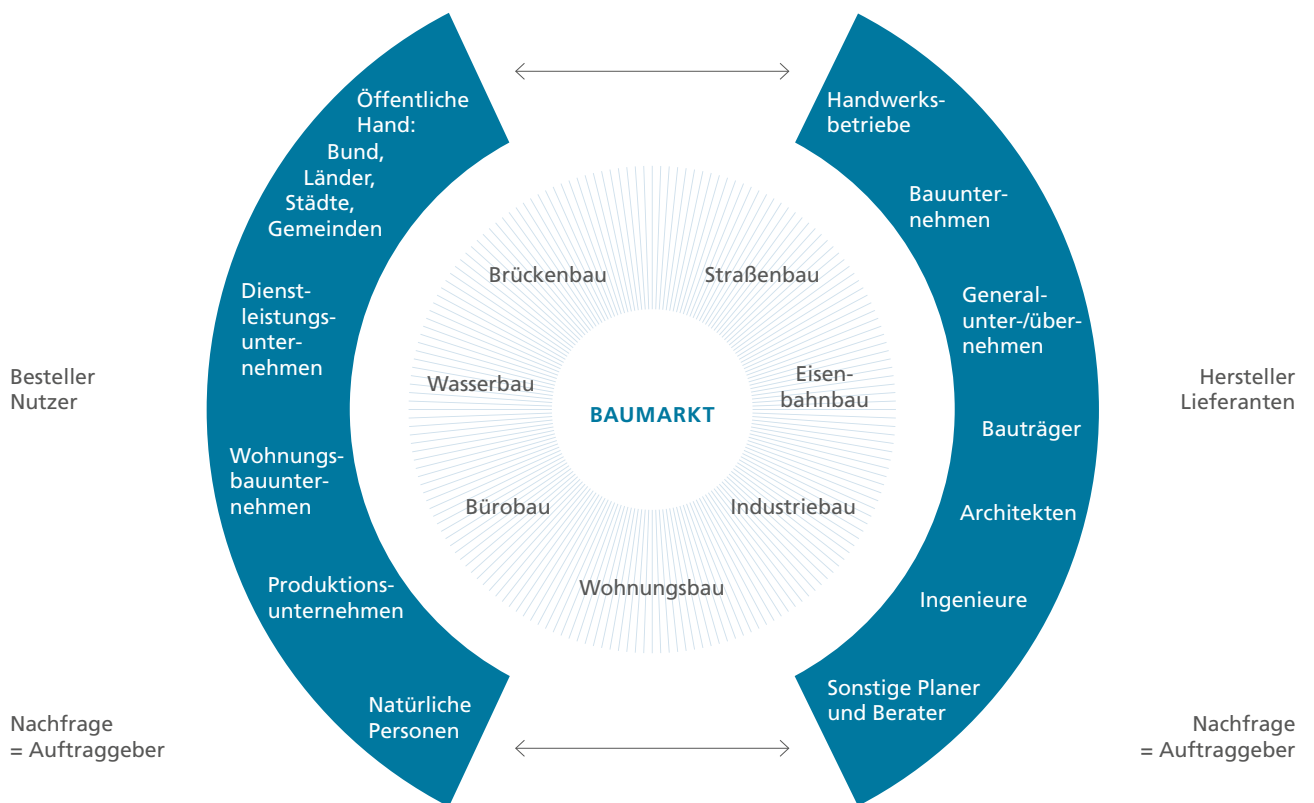


Abbildung 2: Teilnehmer der Baubranche (Quelle: planen-bauen 4.0 GmbH)

Die weltweite Verbreitung von IT-Plattformen wird auch die Bausoftwarebranche betreffen. Dabei muss eine Bau-IT-Plattform die Branchenspezifika genau in Betracht ziehen. Dies sind insbesondere die bereits erwähnte Kleinteiligkeit und Vielfältigkeit der Marktteilnehmer sowie die daraus resultierende Komplexität und hohe Individualität digitaler Lösungen. In der Bausoftwarebranche arbeiten eine Vielzahl von Teilnehmern der Baubranche (siehe Abbildung 2) mit Herstellern digitaler Lösungen zusammen.

Um die Komplexität und Anwendungsbereiche verfügbarer IT-Produkte deutlich, aber trotzdem intuitiv für Marktteilnehmer abzubilden, benötigt eine Marktplatz-Plattform für die Bausoftwarebranche spezifische Klassifizierungskriterien. Mit dem BIMSWARM-Marktplatz (www.bimswarm.de) werden diese Kriterien durch fachspezifische Such- und Klassifikationsmerkmale wie Produktkategorie, Produkttyp, Leistungsphase, Zielgruppe, BIM-Fähigkeit und Anwendungsfälle berücksichtigt. Darüber hinaus ist die Rolle von herstellernerneutralen Zertifizierungen für die Bausoftwarebranche wichtig. Zertifikate dienen der Qualitätssicherung von Marktangeboten und unterstützen Anwender bei ihren Kauf- und Nutzungsentscheidungen. Deshalb sind auch Zertifizierer ein wichtiges Teilnehmersegment auf der BIMSWARM-Plattform (siehe Abbildung 3).

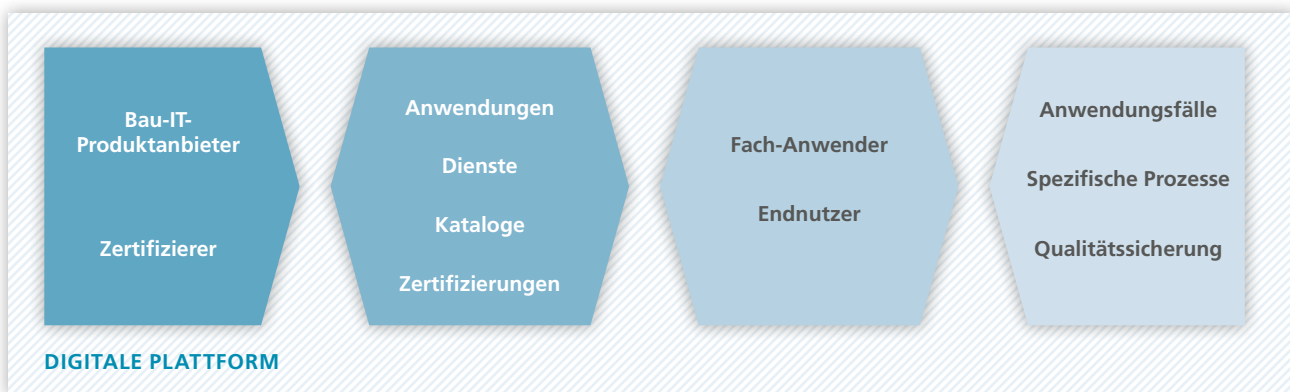


Abbildung 3: Elemente der IT-Plattform für die Bausoftware (Quelle: [4])

Anforderungen an den Marktplatz

Ein Marktplatz für Bau-IT-Produkte muss über eine ausbaufähige modulare Architektur verfügen. [5] Einzelne Funktionalitäten sind in mehrere Bereiche zu unterteilen, von denen jeder über ein Bündel zusammenwirkender Funktionen verfügt und weitestgehend unabhängig von den anderen Bereichen entwickelt werden kann. Diese Bereiche enthalten Customer-Journey-Funktionen (Was können Kunden auf der Plattform tun?) und Backend-Funktionen (technische und fachliche Ausstattung des Betreibers). Zu den plattformübergreifenden Funktionen des Marktplatzes gehören unter anderem ein zentrales Login-System, ein einheitliches fachspezifisches Klassifizierungssystem für Bau-IT-Produkte, Instrumente zur Integration und Kompatibilität von Bau-IT-Produkten (API) sowie ein integriertes Zahlungssystem.

Auf Kundenebene unterscheiden sich Funktionalitäten für Bau-IT-Produktanbieter, Zertifizierungsanbieter und Anwender digitaler Lösungen. **Bau-IT-Produktanbieter** benutzen den Marktplatz in erster Linie als Marketing- und Vertriebskanal. Für sie sind innovative Funktionen des Marktplatzes nötig, wie z. B. Präsenz in verschiedenen Kategorien, Such- und Produktkombinationen, statistische Daten über Besucherpräferenzen auf der Plattform, Leadgenerierung und Leadrückverfolgung. Zusätzlich können Bau-IT-Produktanbieter sich von der Konkurrenz mithilfe angezeigter Zertifikate und anderer spezialisierter Informationen abheben. Die Möglichkeit, eigene und externe Produkte (Anwendungen, Dienste und Kataloge) in Produktkombinationen zu verknüpfen, um Kunden fachlich besser zu unterstützen, erhöht wesentlich das Integrationspotenzial der auf dem Marktplatz verfügbaren Lösungen.

Zertifizierer interagieren eng mit Bau-IT-Produktanbietern, die ihre Lösungen im Marktplatz präsentieren. Zertifizierungsanfragen für Bau-IT-Produkte können über die Plattform bearbeitet werden. Des Weiteren informiert die Plattform Zertifizierer und Bau-IT-Produktanbieter über neue Produkt- und Zertifizierungsversionen. Testdaten können direkt über die Plattform ausgetauscht werden.

Für **Anwender** von Bau-IT-Lösungen ist es wichtig, sich über aktuelle Angebote informieren zu können und diese miteinander zu vergleichen. (Abbildung 4). Hierfür sind Informationen über vorhandene Zertifikate und Nutzerbewertungen besonders hilfreich. Um die Attraktivität und die Reichweite des Marktplatzes für Anwender zu erhöhen, können verschiedene anwenderspezifische Ausprägungen des Marktplatzes angeboten werden, z. B. in Form einer White-Label-Plattform. Hiermit können Anwender – etwa ein Bauherr mit seinen Projektpartnern oder ein Generalunternehmer mit seinen Nachunternehmern – eine individuell vorselektierte Auswahl der Plattformangebote und Funktionen fixieren und anzeigen lassen. Dadurch hat der Auftraggeber seine Bau-IT-Produktlandschaft im Überblick und verfügt über ein modernes Instrument, mit dem er seine Vorgaben mit der ganzen Wertschöpfungskette teilt und auf dem aktuellen Stand hält. Die White-Label-Plattform ist auch ein geeignetes Instrument für größere Benutzergemeinschaften, z. B. für Verbände, Kammern oder Kommunen. Mit der speziell an den Kundenwunsch angepassten Plattform stellen die Benutzergemeinschaften ihren Mitgliedern den Marktplatz in einer individuellen Konfiguration unter eigener Marke zur Verfügung und steigern dadurch ihre Attraktivität.

Ein Single-Sign-on für das Bauwesen

Single-Sign-on („Einmalanmeldung“, SSO) ermöglicht die Nutzung mehrerer Bau-IT-Produkte durch die einmalige Registrierung eines Accounts. Dadurch müssen Anwender sich nicht mehr in einzelne Bau-IT-Produkte einloggen. Für Anwendungen und Dienste, die an einen Authentifizierungsprovider mit SSO angeschlossen werden, ergibt sich eine unkomplizierte Eingliederung neuer Nutzer, die bereits einen Account bei einem Authentifizierungsprovider besitzen.

Das SSO bietet für den Endanwender zahlreiche Vorteile. Zum einen ergibt sich eine Zeitersparnis, wenn mit mehreren Systemen gearbeitet wird. Zum anderen müssen sich Endanwender nicht mehr unzählige Passwörter merken, was sonst in der Regel dazu führt, dass zu einfache Passwörter gewählt werden. Die Neutralität des Authentifizierungsproviders, also seine Unabhängigkeit von einem Softwarehersteller, spielt eine entscheidende Rolle, um das Vertrauen der Nutzer zu gewinnen.



Abbildung 4: Digitaler Marktplatz der BIMSWARM-Plattform als verbindendes Element für Anbieter, Anwender und Zertifizierer (Quelle: BIMSWARM)

Als ein Ergebnis des BIMSWARM-Projektes wird ein Authentifizierungsprovider im Bauwesen entstehen, der seinen Sitz in Deutschland hat und eine neutrale Rolle einnimmt. Bau-IT-Produktanbieter haben die Möglichkeit, das integrierte SSO-System zu implementieren. Hierzu melden sich die Bau-IT-Produktanbieter auf BIMSWARM an und registrieren ihre Produkte, damit diese für den BIMSWARM Single-Sign-on freigeschaltet werden können. Mit der Verwendung des SSO wird das IT-Produkt für alle Nutzer von BIMSWARM – unter der Voraussetzung des Vorhandenseins entsprechender Lizenzen – zugänglich gemacht. Weiterhin können Bau-IT-Produktanbieter sich noch tiefer integrieren, indem sie die BIMSWARM-API implementieren und Bestandteil einer Toolchain (Produktkette) auf BIMSWARM werden (siehe Abbildung 5). Die Waben im Diagramm stellen Softwarelösungen für alle Bereiche vom Beginn des Bauprojektes bis zum Ende dar. Die Daten, die während des Prozessflusses entstehen, werden auf den Speichermedien der Unternehmen gespeichert und können durch die geprüfte und zertifizierte Toolchain in allen Softwarelösungen der Toolchain verwendet werden.

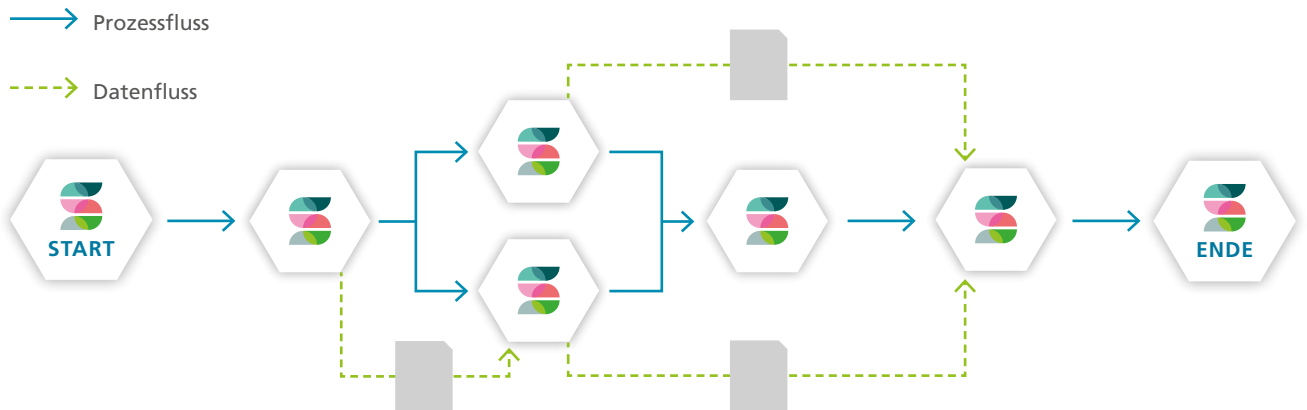


Abbildung 5: Toolchain-Vorlage in BIMSWARM: Verknüpfung der Bau-IT-Produkte mithilfe von BIMSWARM-API und Single-Sign-On. (Quelle: BIMSWARM)

Fazit

Mit einem fachspezifischen Marktplatz für Bau-IT-Produkte wird mit der BIMSWARM-Plattform die Digitalisierung der Baubranche unterstützt. Für Bau-IT-Produktanbieter bietet der Marktplatz einen neuen digitalen Marketing- und Vertriebskanal. IT-Produktanbieter können ihre Lösungen transparent, zielgruppen- und anwendungsfallgerecht positionieren und anbieten. Dabei profitieren die IT-Produktanbieter von einer signifikanten Vertriebskostenreduktion und einer Marktreichweite, die mit traditionellen Methoden wie Direktvertrieb und Einzelakquise nicht erreichbar ist. Für Endanwender bringt der Marktplatz einen Überblick über verfügbare Bau-IT-Produkte, mehr Transparenz, bessere Qualitätssicherung und einfachere Entscheidungen bezüglich der Anschaffung von Bau-IT-Produkten. Zertifizierer von Bau-IT-Produkten tragen ihren Teil zur Qualitätssicherung der Angebote bei, indem sie Anwendungsfall-spezifisch die Eignung von Bau-IT-Produkten validieren. Die Neutralität des Plattformbetreibers und seine fachliche Kompetenz sind Voraussetzungen für den Erfolg eines digitalen Marktplatzes für die Bausoftwarebranche.

Literatur

- [1] Magento Commerce: 5 Reasons Why B2Bs Are Building Marketplaces, 2020: <https://magento.com/resources/5-reasons-why-b2bs-are-building-marketplaces> [abgerufen: 17.12.2020].
- [2] Gartner Research: Imperatives When Building an Enterprise Marketplace, 2019: <https://www.gartner.com/en/documents/3976124/11-imperatives-when-building-an-enterprise-marketplace> [abgerufen: 17.12.2020].
- [3] McKinsey Digital: Why digital strategies fail, 2018: www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/why-digital-strategies-fail [abgerufen: 17.12.2020].
- [4] Diaz, Joaquin (2020). BIMSWARM-Workshop mit assoziierten Partnern, Impulsvortrag, Berlin, 29.5.2020.
- [5] McKinsey Digital: The drumbeat of digital: How winning teams play, 2019: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-drumbeat-of-digital-how-winning-teams-play> [abgerufen: 17.12.2020].

3.3 Digitale Zahlungsabwicklung im Bauwesen mithilfe von Smart Contracts

Klaus Eschenbruch (Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB), Dominik Groß (Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB), Markus König (Ruhr-Universität Bochum)

Motivation

Building Information Modeling (BIM) hat sich international als Oberbegriff für Arbeitsmethoden des Planens, Bauens und Betriebens von Bauwerken auf Grundlage digitaler Technologien durchgesetzt. Kern der BIM-Methode ist die gemeinsame Erstellung und Verwaltung von digitalen Bauwerksmodellen. Reale Bauteile werden im Computer durch Objekte abgebildet, die mit ihren Eigenschaften, Darstellungen auf Plänen und fachspezifischen Planungsinformationen maschineninterpretierbar verknüpft sind. Auch für die Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung werden schon heute digitale Bauwerksmodelle verwendet. Hierbei werden die Positionen des Leistungsverzeichnisses mit Mengen verknüpft, die anhand von Bauelementen eines digitalen Bauwerksmodells mithilfe wiederverwendbarer Berechnungsformeln ermittelt werden. Die Modelle können dann anschließend für die Ausschreibung und Vergabe verwendet werden. Der Abschluss eines Bauvertrags und die vereinbarte Abrechnung erfolgen jedoch immer noch auf konventionelle Art und Weise. Die Abwicklung von komplexen Vertragskonstellationen führt in der Praxis zu großen Schwierigkeiten, insbesondere was die Leistung von Zahlungen und die Aufrechterhaltung der Liquidität aller Beteiligten angeht.

In den letzten Jahren wurden insbesondere zur Steigerung der Transparenz und Automatisierung in einigen Wirtschaftszweigen sogenannte Smart Contracts eingeführt. Mithilfe von Smart Contracts kann das Zahlungs- und Vertragsmanagement innerhalb von Bauprojekten einfacher, transparenter und automatisierter gestaltet werden. Smart Contracts sind Computerprotokolle, die Verträge abbilden und die Abwicklung eines Vertrags technisch unterstützen. In der Regel nutzen Smart Contracts die Blockchain-Technologie, um die Vereinbarungen und Transaktionen verteilt, dezentral, nachvollziehbar, transparent und manipulationssicher abzulegen. Dabei bilden Smart Contracts ausgesuchte Regelungen mithilfe von Wenn-dann-Regeln ab. Wird eine im Vertrag festgelegte Bedingung erfüllt, dann hat dies eine automatische Folge, z. B. eine Auszahlung.

Smart Contracts erlauben, die Zahlungsabwicklung zu vereinfachen.

Smart Contracts bieten somit neue Möglichkeiten, um die Zahlungsabwicklung für alle Baubeteiligten vereinfachen zu können. Durch die gleichzeitige Verfügbarkeit der BIM-Methode steht der Baubranche eine hervorragende Technologie zur Verfügung, Leistungsstände im Detail digital zu dokumentieren und daraus folgende Zahlungsansprüche automatisiert zu berechnen. Das digitale Bauwerksmodell wird als Vertrags-Soll mit einem zugehörigen Abrechnungsmodell vereinbart. Mithilfe von digitalen Fertigstellungsmitteilungen und entsprechenden digitalen Bestätigungen durch den Auftraggeber bzw. dessen Objektüberwachungen können dann automatisiert Zahlungsanweisungen an beteiligte Banken übermittelt und entsprechende Zahlungen sofort ausgeführt werden (siehe Abbildung 1).

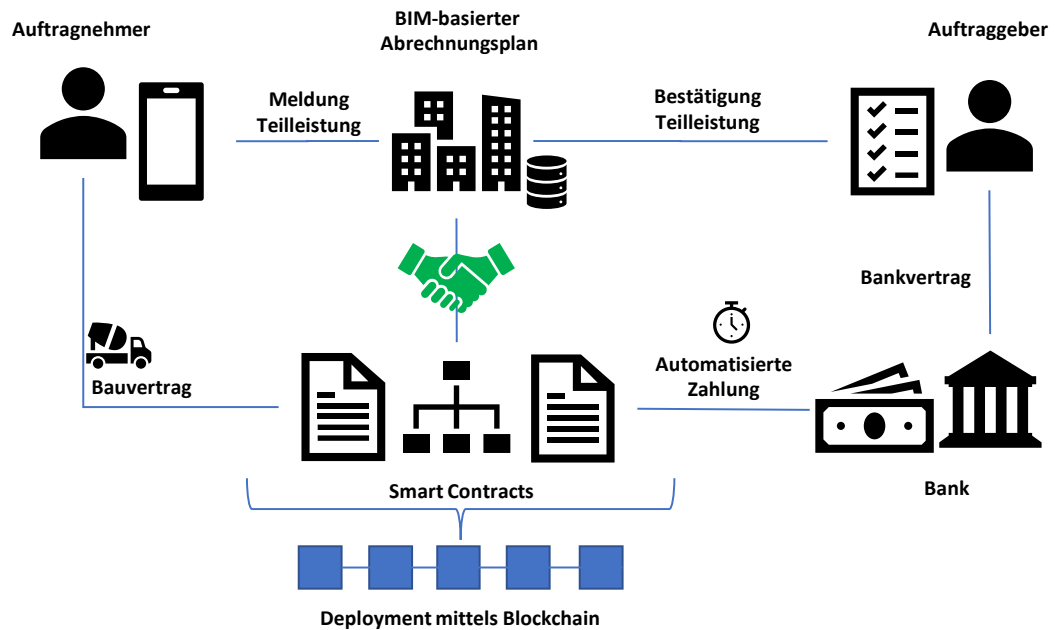


Abbildung 1: Konzept zur automatisierten Zahlungsabwicklung im Bauwesen mithilfe von BIM und Smart Contracts (Quelle: BIMcontracts)

Teilautomatisierter Bauvertrag

Der Einsatz eines Smart Contract bedeutet nicht, dass das Vertragsverhältnis zwischen den Bauvertragsparteien vollständig digitalisiert wird. Im Ausgangspunkt schließen die Parteien noch immer einen klassischen (analogen) Bauvertrag, zu dessen Abwicklung ein Algorithmus – der Smart Contract – eingesetzt wird. Dieser Algorithmus kann nach heutigem Stand der Technik ausschließlich eindeutige Wenn-dann-Beziehungen abbilden. [1] Eine solche automatisierbare Wenn-dann-Beziehung liegt aus juristischer Sicht grundsätzlich beim Zahlungsverkehr vor. Zentral und zwingend notwendig für den Abschluss eines Bauvertrags ist eine Abrede über die sogenannten Hauptleistungspflichten, welche nach § 650a Abs. 1 Satz 2 BGB i.V.m. § 631 Abs. 1 Satz 1 BGB für den Auftragnehmer die Erbringung der Bauleistung, für den Auftraggeber die Zahlung der Vergütung sind. Die Logik des Bauvertrags lautet also vereinfacht gesagt: „Wenn Fertigstellung der Bauleistung – dann Zahlung der Vergütung“. Diese beiden Vertragspflichten können daher in digitaler Form Teil des Bauvertrags werden, um eine Automatisierung der Zahlungsabwicklung zu ermöglichen.

Das Vertrags-Soll wird durch das nach der Methode BIM erstellte digitale Bauwerksmodell im IFC-Format [2] sowie eine Leistungsbeschreibung im GAEB-XML-Format [3] definiert. Diese beiden Dateien lösen die in rein analogen Bauverträgen anzutreffenden Planunterlagen und die analoge Leistungsbeschreibung bzw. das Leistungsverzeichnis ab. Daneben – und dies stellt eine zentrale Fortentwicklung der bislang umgesetzten Konzepte dar – wird zur Definition der Vergütungspflicht des Auftraggebers ein digitales Abrechnungsmodell geschaffen, das den analogen Abrechnungsplan ablöst. Da die BIM-Methode es erlaubt, einzelne Bauteile mit weiteren Informationsmodellen zu verknüpfen, können die Kosten für die Ausführung des jeweiligen Bauteils unmittelbar aus dem digitalen Bauwerksmodell abgeleitet werden. Auf Grundlage eines solchen mit Leistungen und Kosten verknüpften Modells werden Abrechnungseinheiten für das Abrechnungsmodell gebildet, die

von den Vertragsparteien im Vorhinein im Rahmen der Vertragsverhandlungen festgelegt werden müssen. Vertragsrechtlich wird diese Vereinbarung dadurch flankiert, dass im Bauvertrag die Regelungen in §§ 632a BGB und 16 VOB/B, nach denen der Auftragnehmer Anspruch auf Abschlagszahlungen nach Baufortschritt haben soll, nicht zur Anwendung kommen. Dies ist vertragsrechtlich notwendig, da alle Zahlungen im Rahmen des BIMcontracts-Systems juristisch gesehen Abschlagszahlungen sind. Die Schlussrechnungslegung erfolgt nach wie vor analog, da das Gesetz hieran Folgen knüpft, die nicht ohne Weiteres in ein Wenn-dann-Paradigma einzubetten sind. Zentraler Diskussionspunkt zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer wird dann sein, wie weit oder eng die einzelnen Abrechnungseinheiten zu ziehen sind. Eine eingehende Verhandlung über die Verteilung der Posten des (analogen) Leistungsverzeichnisses entspricht aber auch heute bereits gängiger Praxis, sodass an dieser Stelle kein zusätzlicher Aufwand für die Vertragsparteien entsteht. Da es bei der Definition von Abrechnungseinheiten keine Rolle spielt, ob die Parteien eine Pauschalvergütung vereinbart haben („300.000 Euro bei Fertigstellung des Rohbaus Erdgeschoss“) oder eine Abrechnung nach Einheitspreisen („Einheitspreis für Ortbeton je Kubikmeter ist 100 Euro“), ist die Vertragsform – gängig sind die gerade dargestellten Pauschalpreis- und Einheitspreisverträge – unerheblich. Smart Contracts können daher auch in den in der Praxis gängigen Vertragsketten sowohl im Verhältnis zwischen einem Bauherrn und einem Generalunternehmer als auch zwischen dem Generalunternehmer und seinen Nachunternehmern verwendet werden.

Die vorstehend beschriebenen digitalen Vertrags Elemente (digitales Bauwerksmodell, Leistungsverzeichnis und Abrechnungsmodell) werden, sobald sich die Parteien hierauf verständigt haben, zu einer Einheit in Form eines Datencontainers (BCC = BIMcontracts Container) zusammengefasst. Hierbei handelt es sich technisch gesehen um eine Zipdatei, die in einer gemeinsamen Datenumgebung (bei der Nutzung der Methode BIM wird von einem Common Data Environment oder CDE gesprochen) gespeichert wird. Abbildung 2 verdeutlicht die Zusammenhänge.

Analoger Bauvertrag

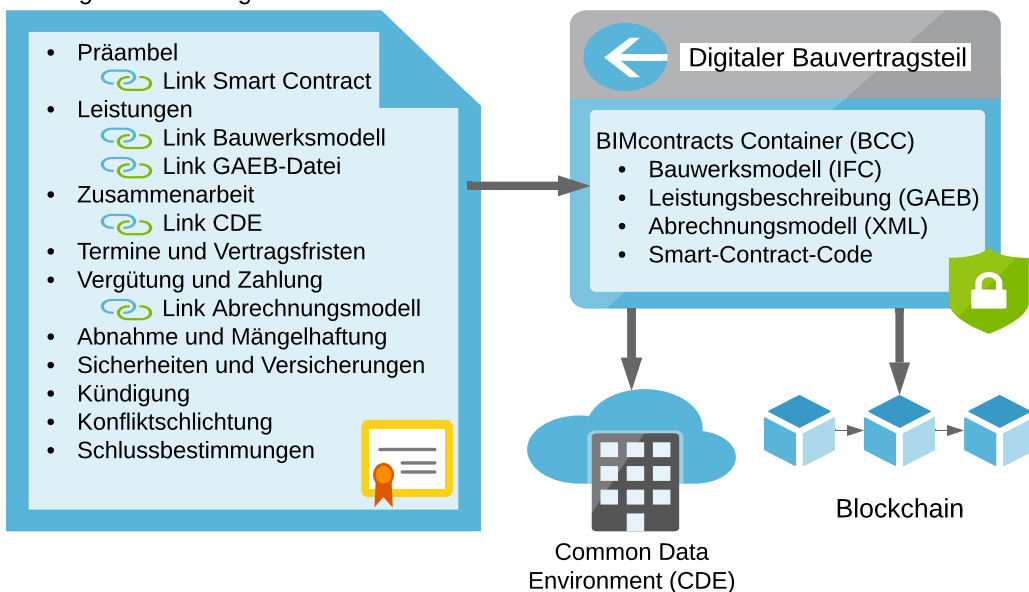


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen analogem Bauvertrag und digitalem Bauvertragsteil sowie Verwaltung mittels Common Data Environment und Blockchain (Quelle: BIMcontracts)

Der BCC sowie der gesamte Text des Bauvertrags werden zudem unveränderlich und dezentral abgespeichert. Hierzu wird die Blockchain-Technologie verwendet, die zusätzlich die einzelnen Schritte der Umsetzung des Zahlungsverkehrs unveränderlich dokumentiert. Daneben wird die Blockchain-Technologie auch dafür verwendet, den Vertragsparteien eine rechtssichere Bestätigung der vereinbarten digitalen Elemente des Bauvertrags zu ermöglichen. Den Parteien wird im Bauvertrag jeweils eine eindeutige Blockchain-Identität verliehen, mittels der nach Vertragsschluss auf der Blockchain bestätigt werden muss, dass der referenzierte Smart Contract tatsächlich der Parteivereinbarung entspricht. Erst dann kommt es zur Ausführung des Smart Contract.

Die übrigen Klauseln des Bauvertrags werden lediglich punktuell modifiziert, um der Zahlungsabwicklung mittels eines Smart Contract Rechnung zu tragen. So müssen etwa Nutzungsbedingungen für den Smart Contract, die CDE sowie die Blockchain zur Vertragsgrundlage werden. Daneben müssen Regelungen für die Haftung bei Fehlfunktion des Algorithmus geschaffen werden.

Besonders hinzuweisen bleibt auf die datenschutzrechtlichen Aspekte der Zahlungsabwicklung mit Smart Contracts. Das hier vorgestellte Modell geht davon aus, dass alle wesentlichen Aspekte des Smart Contract in einer Blockchain gespeichert werden. Sofern es sich bei den gespeicherten Daten um personenbezogene Daten handelt, ist der Anwendungsbereich der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) eröffnet. Insbesondere das Recht auf Löschung ist in der Blockchain wohl nicht vollständig realisierbar. [4] Eine nachträgliche Löschung einzelner Teile aus der Blockchain, sogenanntes Pruning, würde jedenfalls die Nachvollziehbarkeit und Fälschungssicherheit, die bei der Blockchain gerade garantiert werden sollen, empfindlich einschränken. [5] Diese Problematik lässt sich von vornherein entschärfen, wenn auf der Blockchain möglichst keine personenbezogenen Daten gespeichert werden.

Automatisierte Zahlungsabwicklung

Die Interaktionen der Vertragsparteien mit dem Smart Contract müssen mithilfe digitaler Werkzeuge erfolgen. Wie bereits ausgeführt, müssen Daten, Prozesse und Regeln eines Smart Contract menschenlesbar zugänglich gemacht werden. Der zugrundeliegende BCC sollte durch die Erweiterung von vorhandenen BIM-Werkzeugen intuitiv visualisiert werden. Wichtig ist dabei, eine einfache Navigation und Abfrage zu ermöglichen. Bei Fertigstellung der zu einer Abrechnungseinheit gehörenden (Teil-)Leistung lässt der Auftragnehmer auf der Baustelle mittels eines Endgerätes (Tablet- oder Smartphone-App) dem Auftraggeber eine Fertigstellungsmitteilung zukommen (siehe Abbildung 3). Der Auftraggeber prüft daraufhin, ob die Leistung tatsächlich ohne wesentliche Mängel fertiggestellt wurde. An dieser Stelle sind drei Szenarien denkbar:

1. Der Auftraggeber gibt eine Fertigstellungsbestätigung ab und bringt damit zum Ausdruck, dass die Leistung ohne wesentliche Mängel erbracht wurde. In diesem Fall wird automatisch die mit der jeweiligen Abrechnungseinheit verknüpfte Zahlung ausgelöst, indem eine Überweisung unmittelbar von der Auftraggeber-Bank an die Auftragnehmer-Bank erfolgt.

2. Der Auftraggeber verweigert die Fertigstellungsbestätigung, da nach seiner Ansicht noch keine vertragsgemäße Leistung erbracht wurde. In diesem Fall verpflichtet sich der Auftraggeber, die vorliegenden Mängel der Leistung möglichst genau zu dokumentieren. Der Auftragnehmer kann seine Leistung nunmehr wiederholen und erneut eine Fertigstellungsmitteilung abgeben. Wenn nunmehr aus Sicht des Auftraggebers keine wesentlichen Mängel mehr vorliegen, gibt dieser eine Fertigstellungsbestätigung ab und der Ablauf findet wie unter 1. beschrieben statt.

3. Der Auftraggeber gibt eine Teilfertigstellungsbestätigung ab. In Höhe der mangelfrei erbrachten Leistungen kann der Auftragnehmer nunmehr auch bestätigen, dass es zu einer Teilauszahlung kommen soll. Aus juristischer Sicht handelt es sich dabei um einen Mängeleinbehalt im Sinne des § 632a Abs. 1 Satz 4 BGB i.V.m. § 641 Abs. 3 BGB. Über die noch nicht fertiggestellte Restleistung wird eine neue Abrechnungseinheit gebildet, die bei Fertigstellungsmitteilung und -bestätigung zur automatischen Auszahlung kommt.

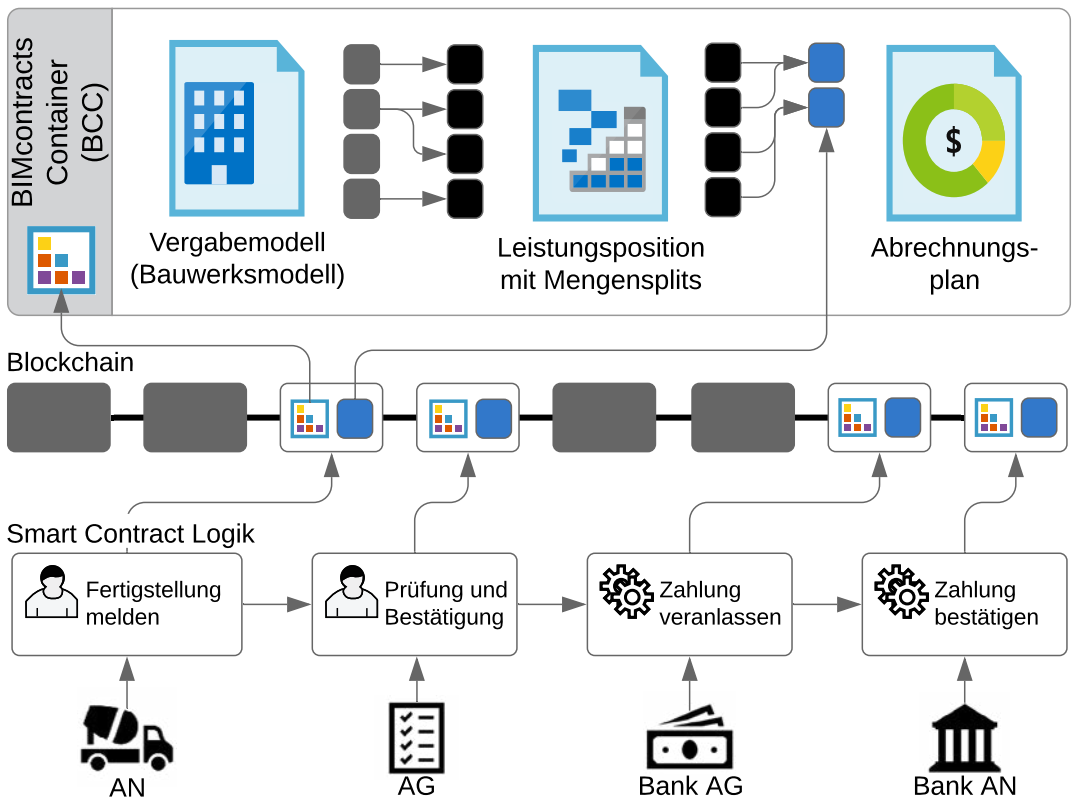


Abbildung 3: Automatisierte Leistungsmeldung, Prüfung und Zahlungsabwicklung (Quelle: eigene Darstellung)

Die Kombination von BIM und Smart Contracts nutzt das Potenzial der Digitalisierung für die Bauabwicklung.

Bereits erhältliche Mängelmanagement-Softwarewerkzeuge können mittels offener Schnittstellen integriert werden. Eine Automatisierung des Terminmanagements, einschließlich Terminfortschreibungen wegen Behinderungen und Vertragsstrafen, wird aktuell nicht berücksichtigt. Hierzu stellen sich aus juristischer Sicht unzählige Wertungsfragen – etwa die Verschuldensfrage bei Schadensersatz- und Vertragsstrafeansprüchen –, die einer Abbildung in Form einer Wenn-dann-Beziehung nicht zugänglich sind. [1] Eine systeminterne Konfliktschlichtung ist in einem weiteren Schritt ebenfalls denkbar, wird aber im Rahmen dieses Forschungsvorhabens aktuell nicht verfolgt.

Fazit

Durch die Kombination der Methode BIM mit einer auf Smart Contracts basierten Vertragsabwicklung ist es möglich, das Potenzial der Digitalisierung im Bauwesen über die Planungstätigkeit hinaus in der Bauabwicklungsphase zu nutzen. Durch die Automatisierung des Zahlungsverkehrs können Nutzer des hier vorgestellten Systems bei der Leistungsfreigabe Ressourcen sparen. Es kommt zu Effektivitätszuwächsen beim Auftraggeber und zu einer besseren Vorhersehbarkeit des Cashflows beim Auftragnehmer.

Literatur

- [1] Siehe hierzu ausführlicher Eschenbruch, Klaus, Groß, Dominik, and König, Markus: Auf dem Weg zum digitalen Bauvertrag – Automatisierung des Zahlungsverkehrs im Bauwesen mittels BIM und Smart Contracts (BIMcontracts), in *Bauwirtschaft* 5(1), pp. 7–20, 2020.
- [2] DIN EN ISO 16739-1:2019-09 – Entwurf: Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauwirtschaft und im Anlagenmanagement – Teil 1: Datenschema, 2018: <https://www.beuth.de/de/norm/iso-16739-1/299296219> [abgerufen: 17.12.2020].
- [3] Hierbei handelt es sich um eine einheitliche Spezifikation und Strukturierung des Gemeinsamen Ausschusses Elektronik im Bauwesen (GAEB), <https://www.gaeb.de/de/produkte/gaeb-datenaustausch> [abgerufen: 17.12.2020].
- [5] Schrey, Joachim and Thalhofer, Thomas: Rechtliche Aspekte der Blockchain, in *Neue Juristische Wochenschrift (NJW)*, vol. 70(20), pp. 1431–1435, 2017.
- [6] Martini, Mario and Weinzierl, Quirin: Die Blockchain-Technologie und das Recht auf Vergessenwerden, *Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ)*, vol. 36, pp. 1251–1255, 2017.



4

Software

4 SOFTWARE

4.1 Toolchains – Kompatibilität zwischen Bau-IT-Produkten

Philipp Hagedorn (Ruhr-Universität Bochum), Dirk Bessert (eTASK Immobilien GmbH), Duc Pham (RIB Software SE)

Einleitung

Das Bauwesen ist geprägt durch die Diversität der durchzuführenden Prozesse, der verwendeten Systeme und der beteiligten Personen. Mit dem Einsatz von digitalen Methoden der Bauwerksmodellierung, dem Building Information Modeling (BIM), hat sich eine kooperative Arbeitsmethode etabliert, die maßgeblichen Einfluss auf diese diversen Prozesse, Beteiligten und Systeme hat. Das gemeinsame Ziel von Industrie und Wissenschaft ist die durchgängige Verwendung der Bauwerksinformationen über den Bauwerkslebenszyklus und damit verbunden die Nutzung von offenen Austauschformaten. Dieses Ziel ist auch in der international gültigen Norm DIN EN ISO 19650 unter dem Titel „Informationsmanagement mit BIM“ verankert [1].

Ein herstellerunabhängiger, offener Datenaustausch in Hinblick auf die durchgängige Kompatibilität ist jedoch schwer durchzusetzen [2], da dieser dateibasierte Informationsaustausch nicht immer von allen Softwareprodukten im Bauwesen gleichermaßen unterstützt wird [3]. Darüber hinaus ist ein dateibasierter Datenaustausch für die in der BIM-Methodik geforderte Kollaboration zum Teil nicht sinnvoll umsetzbar, vor allem wenn mit mehreren Beteiligten kollaborativ an Bauwerksmodellen gearbeitet werden soll [4]. Eine Alternative zum dateibasierten Informationsaustausch stellt der asynchrone Austausch von Informationen über Webschnittstellen basierend auf dem Representational State Transfer (REST) dar, der durch die Standardisierung von Schnittstellen verstärkt an Relevanz gewinnt [5]. Insbesondere in Hinblick auf aktuelle Technologien wie Cloud-Computing, aber auch aufgrund der Anzahl an IT-Produkten, die in die Cloud verlegt werden, findet ein wachsender Teil des Datenaustausches mittlerweile über Webschnittstellen statt.

Im Rahmen des Forschungsprojekts BIMSWARM wird eine Plattform für das Bauwesen entwickelt, die ihre Nutzer bei der Verknüpfung von kompatiblen Applikationen, Services und Content unterstützt, um ganzheitliche digitale Wertschöpfungsketten aufzubauen. Diese Wertschöpfungsketten werden auf der Basis von Anwendungsfällen definiert und können als wiederverwendbare Toolchains web-basiert ausgeführt werden. Zusätzlich dazu können Toolchains zertifiziert werden. Das Konzept der BIMSWARM-Toolchains wird im Folgenden zunächst methodisch erläutert, Umsetzung und Integration des Konzepts dargelegt und abschließend anhand eines Anwendungsbeispiels demonstriert.

Konzept

Im Kontext des Forschungsprojektes ist eine Toolchain die modellhafte Abbildung eines bauspezifischen Prozesses zur Bearbeitung einer Aufgabe bzw. eines Anwendungsfalls. Der Prozess ist unterteilt in Prozessschritte, im Folgenden als Elemente bezeichnet. Die Konfiguration von Toolchains erfolgt mittels bewährter standardisierter Modelle zur Prozessbeschreibung auf Basis von Business Process Model and Notation (BPMN) 2.0 [6]. Die Elemente in einer Toolchain umfassen analog zu BPMN die obligatorischen Start- und Endelemente, mindestens ein Aktivitätselement und optionale Verzweigungen und Vereinigungen. Aktivitätselemente stellen in der Toolchain die Beziehung zu den konkreten Bau-IT-Produkten her und bilden so eine Aktivität innerhalb des Produktes im Kontext des Prozesses ab.

Es wird innerhalb der Toolchain zwischen einem Prozessfluss und einem Datenfluss unterschieden, die unabhängig voneinander konfiguriert werden können. Für jedes Element existiert eine Liste von Nachfolgern, die die Prozessschritte miteinander verbindet und eine Prozesssteuerung auf Workflowebene ermöglicht (siehe Abbildung 1, blau). Zusätzlich dazu werden für Aktivitätselemente Listen von Eingangs- und Ausgangsdaten modelliert, die den Datenfluss darstellen (siehe Abbildung 1, grün). Der Datenfluss zwischen beliebigen Anwendungen wird mittels der Implementierung einer offenen gemeinsamen Datenumgebung (openCDE) nach DIN SPEC 91391 realisiert [7].

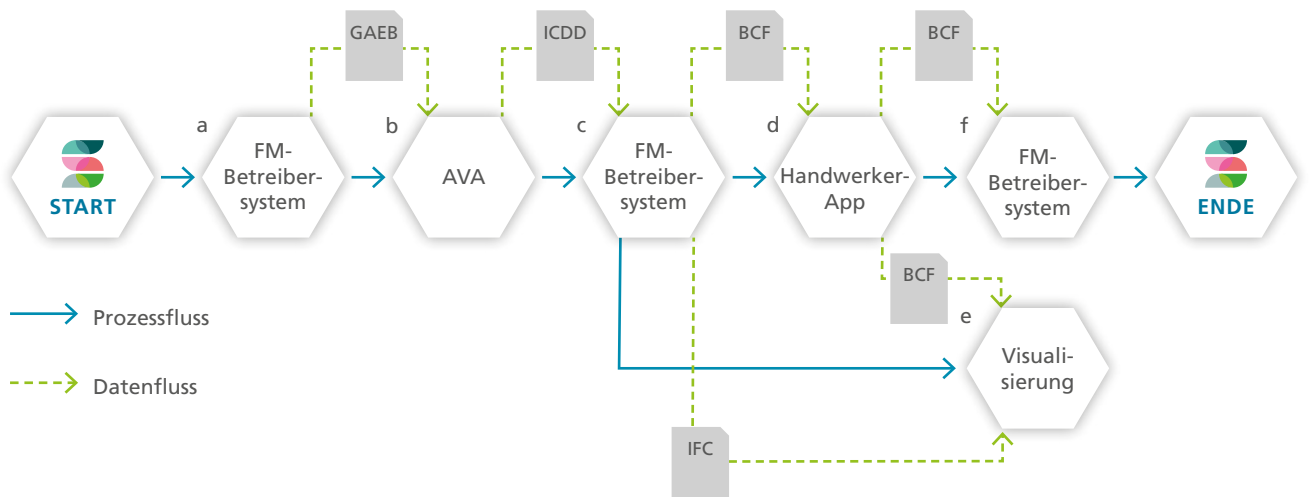


Abbildung 1 Konfigurierte Toolchain für den Anwendungsfall; die einzelnen Waben stehen jeweils für eine Produkttypengruppe (Quelle: BIMSWARM)

Die Toolchains können auf der Plattform mit einem Werkzeug, dem sogenannten Composer, als Vorlage konfiguriert werden. Es wird sichergestellt, dass sowohl der dateibasierte Datentransfer als auch der Datentransfer über Webschnittstellen zwischen den Applikationen kompatibel ist. Hierzu werden bei der Registrierung von Produkten auf der Plattform Merkmale von Schnittstellen und zugehörige Zertifizierungen angegeben. Der Composer definiert somit den konkreten Prozess- und Datenfluss der Vorlage. Auf Basis der erstellten Vorlage können beliebig viele Instanzen der Toolchain erstellt und parallel von einem oder mehreren Benutzern verwendet werden. Die Prozesssteuerung der Toolchains wird von der BIMSWARM-Plattform durchgeführt. Die Plattform stellt hierfür eine Webschnittstelle zur Verfügung, damit Bau-IT-Produkte andocken und die Informationen zu Toolchains abfragen können. Diese Schnittstelle ermöglicht die Abfrage von allen für den authentifizierten Benutzer freigegebenen Toolchainvorlagen und daraus erzeugten Instanzen.

Bei jeder Änderung des Status eines Aktivitätselementes über die Webschnittstelle werden von der Prozesssteuerung die nachfolgenden Elemente angestoßen. Über eine Abfrage an der Webschnittstelle kann jedes Produkt seinen eigenen Status abfragen und entsprechend an den Nutzer signalisieren. Die Prozesssteuerung sorgt weiterhin dafür, dass der definierte Statusübergang zu jedem Zeitpunkt in der Toolchain gewährleistet ist, indem bei jeder Statusänderung auch alle Vorgänger überprüft werden. Der Datenaustausch zwischen den Applikationen in einer Toolchain erfolgt plattformgesteuert über

die standardisierte openCDE-Schnittstelle [7]. Die in der technischen Spezifikation definierte Schnittstelle ermöglicht einen generellen Container-basierten Informationsaustausch für verschiedene Typen von Containern und Daten. Ein Container wird darin als fixierte Sammlung von Dateien beschrieben und durch einen Satz von Metadaten zum anwendungsfallorientierten Datenaustausch definiert. Die darin beinhalteten Daten werden entsprechend ihren gültigen Normen und Spezifikationen von den in der Toolchain enthaltenen Bau-IT-Produkten verarbeitet. Die Daten basieren vorzugsweise, aber nicht ausschließlich, auf standardisierten offenen Dateiformaten. Die Spezifikation der Schnittstelle ermöglicht die Übertragung von beliebig vielen typisierten Dateien (Content) und deren Metadaten. Darüber hinaus ist ein verknüpfter Datenaustausch auf Datei- und Entitätenebene gemäß der ISO 21597-1:2020 (Information Container for linked document delivery, ICDD) möglich. Insgesamt können Daten so kontext- und anwendungsfallbezogen ausgetauscht werden.

Für die erfolgreiche Ausführung einer Toolchain über Anwendungsgrenzen hinaus ist neben der angeführten Prozesssteuerung und dem Zwischenspeicher eine übergreifende Authentifizierung notwendig. Die Authentifizierung erfolgt mittels einmaliger Eingabe der Plattformzugangsdaten über einen generierten, signierten Token in den Clients, weswegen auch von einem Single-Sign-on (SSO) gesprochen werden kann [9]. Die SSO-Authentifizierung wird als Authentifizierungsdienst von der Plattform für alle dort registrierten IT-Produkte bereitgestellt. Da der Authentifizierungsworkflow selbst ein Industriestandard [10] ist, wird er bereits in vielen Applikationen implementiert und kann mit geringem Aufwand für die Nutzung in BIMSWARM konfiguriert werden.

Anwendungsfall

Nachfolgend wird eine beispielhafte Implementierung des Toolchain-Konzepts am Anwendungsfall „Planung einer Aufzugswartung aus der Sicht des Gebäudebetreibers“ erläutert. Zunächst werden die Teilprozesse im Anwendungsfall beschrieben. Darauf aufbauend können die einzelnen Bau-IT-Produkte für die Toolchain zusammengestellt und konfiguriert werden. Dabei wird die Annahme getroffen, dass die am Prozess beteiligten Akteure bereits mit openBIM-fähigen Bau-IT-Produkten arbeiten. Mithilfe des beschriebenen Konzepts werden die vorhandenen Bau-IT-Produkte zu einer digitalen Wertschöpfungskette verknüpft. Das Ziel dieses Anwendungsfalls ist die Beauftragung und Durchführung einer regelmäßigen Aufzugswartung auf Basis eines Bauwerksinformationsmodells. Abbildung 2 stellt die Teilprozesse dieses Anwendungsfalls dar.

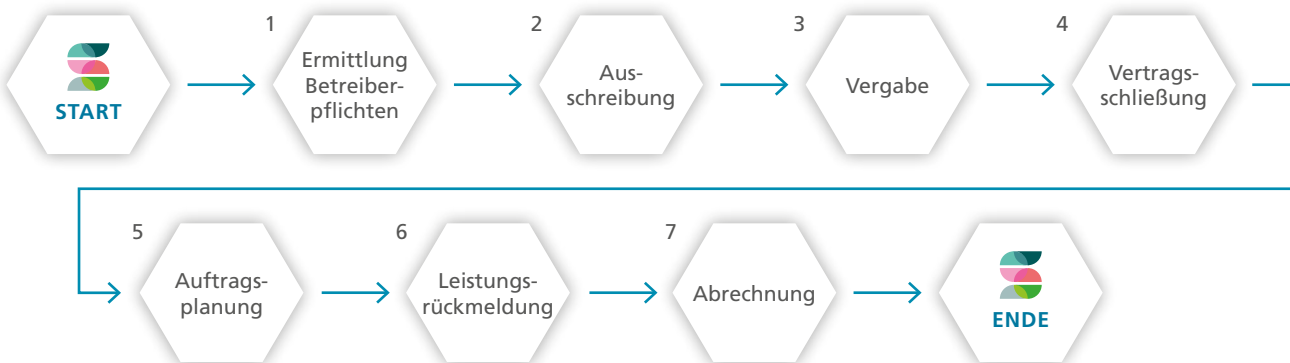


Abbildung 2: Teilprozesse im Anwendungsfall „Planung einer Aufzugswartung aus der Sicht des Gebäudebetreibers“ (Quelle: BIMSWARM)

Die Ausgangslage des Anwendungsfalls wird bestimmt durch das Regelwerks-Informationssystem von Rödl & Partner (REG-IS)¹, eine webbasierte Datenbank für Regelwerke im Facility Management (FM). Das Informationssystem gibt vor, dass überwachungsbedürftige Aufzugsanlagen (alle Aufzüge zur Personenbeförderung) einer wiederkehrenden Prüfung unterzogen werden müssen. Folglich sind Gebäudebesitzer bzw. -betreiber in der Pflicht, ihre Aufzugsanlagen regelmäßig warten zu lassen. Hierzu muss der Gebäudebetreiber zunächst im Teilprozess (1) die Maßnahmen für die Wartung seines Aufzugs ermitteln. Dies erfolgt auf Grundlage eines nach den Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) modellierten Asset-Informationsmodells (AIM). Das AIM ist ein Informationsmodell, das den digitalen Zwilling des realen Bauwerks darstellt und für die Betriebsphase benötigt wird.

Im Hinblick auf das Facility Management sind vom CAFM-Ring² sogenannte BIM-Profile als digitale Vorlage für die Asset-Informationsanforderung (AIR) entwickelt worden. Für das Anwendungsbeispiel wird das BIM-Profil „Fördertechnische Anlagen inspizieren und warten“³ verwendet, um die betriebsrelevanten Informationen für das AIM im Modellierungswerkzeug zu hinterlegen (siehe Abbildung 3).

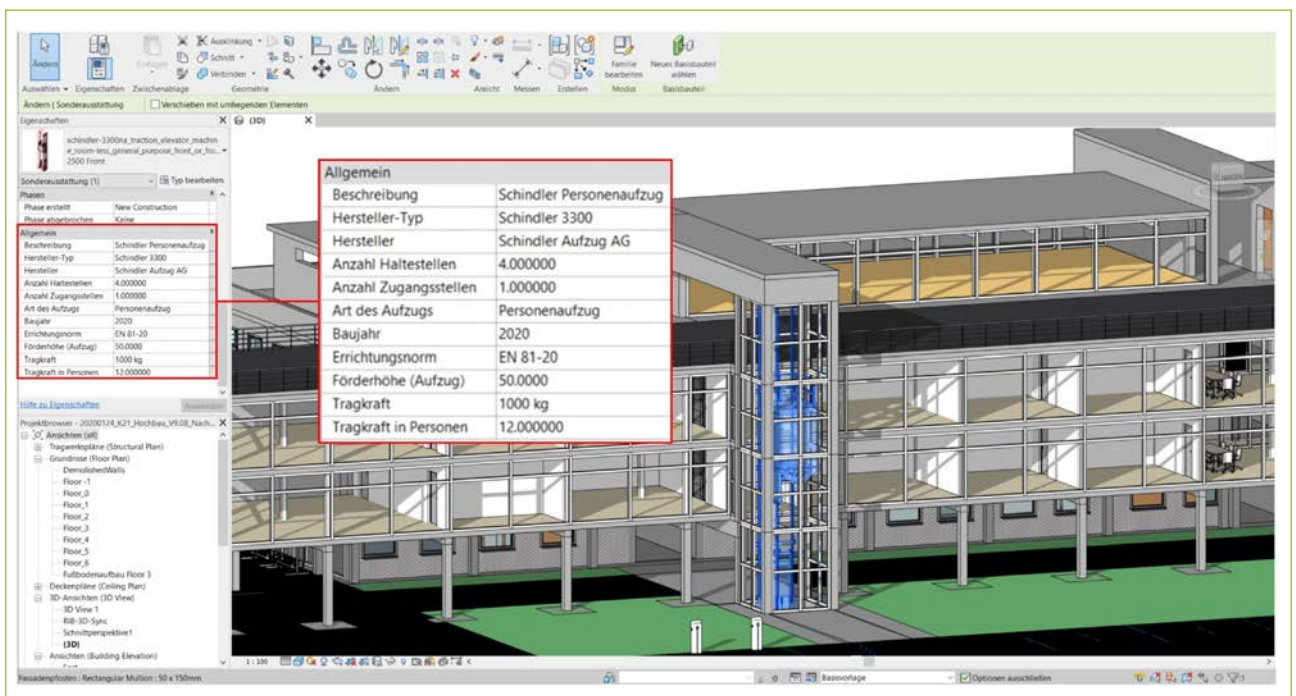


Abbildung 3: Aufzugsanlage im Asset-Informationsmodell mit den betriebsrelevanten Informationen (rot), die durch das BIM-Profil „Fördertechnische Anlagen inspizieren und warten“ vorgegeben werden (Quelle: BIMSWARM)

1 www.roedl.de/dienstleistungen/rechtsberatung/facility-management-recht/reg-is/
 2 www.cafmring.de
 3 www.cafm-connect.org/bim-profile/

Das AIM wird im offenen Dateiformat IFC (Industry Foundation Classes) bei der Inbetriebnahme des Assets in das FM-Betreibersystem importiert. Mit dem AIM in seinem System kann der Gebäudebetreiber die Maßnahmen für die Aufzugswartung ermitteln und mithilfe einer AVA-Software (Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung) eine Angebotsaufforderung im GAEB-Format (Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen⁴) für die Ausschreibung im Teilprozess (2) generieren. Die erzeugte Angebotsaufforderung wird anschließend an mögliche Dienstleister verschickt. Die Dienstleister erstellen jeweils ein Angebot und senden das erstellte Angebot mit bepreisten Positionen im GAEB-Format an den Gebäudebetreiber zurück. Dieser vergibt im Teilprozess (3) den Auftrag an den besten Bieter. Im Teilprozess (4) wird ein Rahmenvertrag zwischen Auftraggeber (Gebäudebetreiber) und Auftragnehmer (Dienstleister) geschlossen, um den Auftrag zu erteilen. Die Beauftragung erfolgt ebenfalls in der AVA-Software. Die Vertragsgegenstände sind ein Rahmenvertrag in PDF-Format und das bepreiste Angebot im GAEB-Format. Beide Dateien werden an das FM-Betreibersystem zur Dokumentation gesendet. An dieser Stelle ist anzumerken, dass der Prozess für die Ausschreibung, Angebotserstellung und Vergabe einen separaten Anwendungsfall darstellt und ebenso als Toolchain abgebildet werden kann. Um das Beispiel einfach zu halten, erfolgt hier keine detaillierte Betrachtung.

Nach der Vertragsschließung folgt im Teilprozess (5) die Auftragsplanung durch den Gebäudebetreiber. Dabei wird das Wartungsintervall des Aufzugs festgelegt und an den Dienstleister als Nachricht weitergeleitet. Gleichzeitig erzeugt der Gebäudebetreiber aus dem Bauwerksmodell heraus eine BCF-Datei (BIM Collaboration Format) und sendet diese an eine mobile Handwerker-App, welche vom Dienstleister am Einsatzort für die Auftragsbearbeitung verwendet wird. Die BCF-Datei enthält neben den auftragsrelevanten Informationen einen Screenshot und einen BCF-Viewpoint von dem Aufzugsmodell, die Standortkoordinaten des Aufzugs und einen Auftragsstatus.

Das BCF-Format ist ein Dateiformat zu Berichtszwecken zwischen verschiedenen IT-Anwendungen in der Modellprüfung und Koordinierung. Allerdings kann BCF auch für die Rückmeldung von Leistungen zwischen Auftragnehmern und Auftraggebern verwendet werden. Ist die Wartung abgeschlossen, erstellt der ausführende Handwerker im Teilprozess (6) einen Arbeitsbericht und aktualisiert den Status des Auftrags in seiner App zu „abgeschlossen“. Die Informationen zur erbrachten Leistung werden im BCF-Format wieder an das FM-Betreibersystem zurückgesendet. Mit der Leistungsrückmeldung durch den Dienstleister kann schließlich im Teilprozess (7) eine Abrechnung durchgeführt werden.

Für die beschriebenen Teilprozesse werden vom Gebäudebetreiber und Dienstleister verschiedene Softwarelösungen verwendet. Die Konfiguration dieser Bau-IT-Produkte zu einer Toolchain erfolgt durch den Gebäudebetreiber mithilfe des Composers auf der BIMSWARM-Plattform. Um den Funktionsumfang eines Bau-IT-Produkts zu gewährleisten und dem Anwender die Suche zu erleichtern, können Bau-IT-Produkte zu sogenannten Produkttypengruppen (PTG) auf dem BIMSWARM-Marktplatz zugeordnet werden. Dabei stellt eine PTG eine definierte Liste von spezifischen Merkmalen (oder auch Funktionalitäten) dar, die für Produkte dieser PTG charakteristisch sind. Ein Beispiel hierzu ist die PTG FM-Betreibersystem, die alle Bau-IT-Produkte mit Funktionalitäten für den digitalen Betrieb von Bauwerken auflistet. Die Konfiguration von Toolchains mit dem Composer setzt allerdings voraus, dass die verwendeten Softwarelösungen bereits am BIMSWARM-Marktplatz regis-

4 www.gaeb.de

triert und einer Produkttypengruppe zugeordnet sind. Zudem muss der BIMSWARM-SSO in den gelisteten Bau-IT-Produkten durch die Softwarehersteller implementiert werden, um eine einmalige Autorisierung an der BIMSWARM-Plattform selbst sowie an dem Basisdienst des Zwischenspeichers (openCDE) zu ermöglichen.

In Abbildung 1 ist eine dem Anwendungsfall entsprechend konfigurierte Toolchain abgebildet. Die PTG von (a) bis (f) stellen die folgenden Bau-IT-Produkte dar: Das FM-Betreibersystem und die AVA-Software des Gebäudebetreibers, die Handwerker-App des Dienstleisters und einen webbasierten Visualisierungsservice, der von BIMSWARM bereitgestellt wird. Mit dem FM-Betreibersystem werden die Teilprozesse (1), (5) und (7) ausgeführt, mit der AVA-Software die Teilprozesse (2), (3) und (4) und mit der Handwerker-App der Teilprozess (6) (siehe Abbildung 2).

Bei der Konfiguration einer Toolchain hat der Anwender die Möglichkeit, weitere webbasierte Services, die der BIMSWARM-Marktplatz zur Verfügung stellt, am Gesamtprozess anzubinden. Am Beispiel des Anwendungsfalls wurde ein zusätzlicher Visualisierungsservice (e) eingerichtet. Mit diesem Service kann der Gebäudebetreiber seinen Auftragnehmern das Asset-Informationsmodell zur Visualisierung in einem webbasierten 3D-Viewer zur Verfügung stellen.

Das Starten der konfigurierten Toolchain wird mit dem Versenden der Angebotsaufforderung im GAEB-Format aus dem FM-Betreibersystem (a) an die AVA-Software (b) ausgelöst. Die webbasierte Datenübertragung erfolgt über die openCDE-Schnittstelle, die zwischen den einzelnen Bau-IT-Produkten von (a) bis (e) eingerichtet ist (siehe Abbildung 1). Nachdem der Vertrag zwischen Gebäude-

Toolchains bieten Nutzern von Bau-IT-Produkten die Möglichkeit, Prozessketten aus Einzelsoftware-Lösungen anwendungsfallbezogen zu definieren und auszuführen.

betreiber und Dienstleister im Teilprozess (4) abgeschlossen wurde, können der Rahmenvertrag im PDF-Format und das bepreiste Angebot zur Dokumentation an das FM-Betreibersystem übertragen werden. Dabei stellt die openCDE die Möglichkeit zur Verfügung, beide Dateien miteinander in Form von ICDD-Containern zu verlinken. Dies hat bei mehreren Aufträgen, aber auch bei Projekten den Vorteil, die Zugehörigkeit von Dateien zu gewährleisten und Fehler bei der Dokumentation zu vermeiden. Mit dem Abschließen des Teilprozesses (5), der Auftragspla-

nung, wird eine BCF-Datei aus dem FM-Betreibersystem (c) an die Handwerker-App (d) gesendet. Aus der App (d) kann der Handwerker die erhaltene BCF-Datei an den Visualisierungsdienst (e) senden (siehe Abbildung 1). Durch die Standortkoordinaten in der BCF-Datei gelangt der Handwerker direkt zum Aufzugsmodell und kann vorab modellbasiert die Wartung planen. Ein Beispiel für die Visualisierung ist in Abbildung 4 dargestellt. Nach Abschluss der Wartung wird aus der Handwerker-App eine BCF-Datei mit dem aktualisierten Auftragsstatus an das FM-Betreibersystem (f) zurückgesendet (siehe Abbildung 1). Mit dem Erhalt der Leistungsrückmeldung wird die Toolchain automatisch beendet.

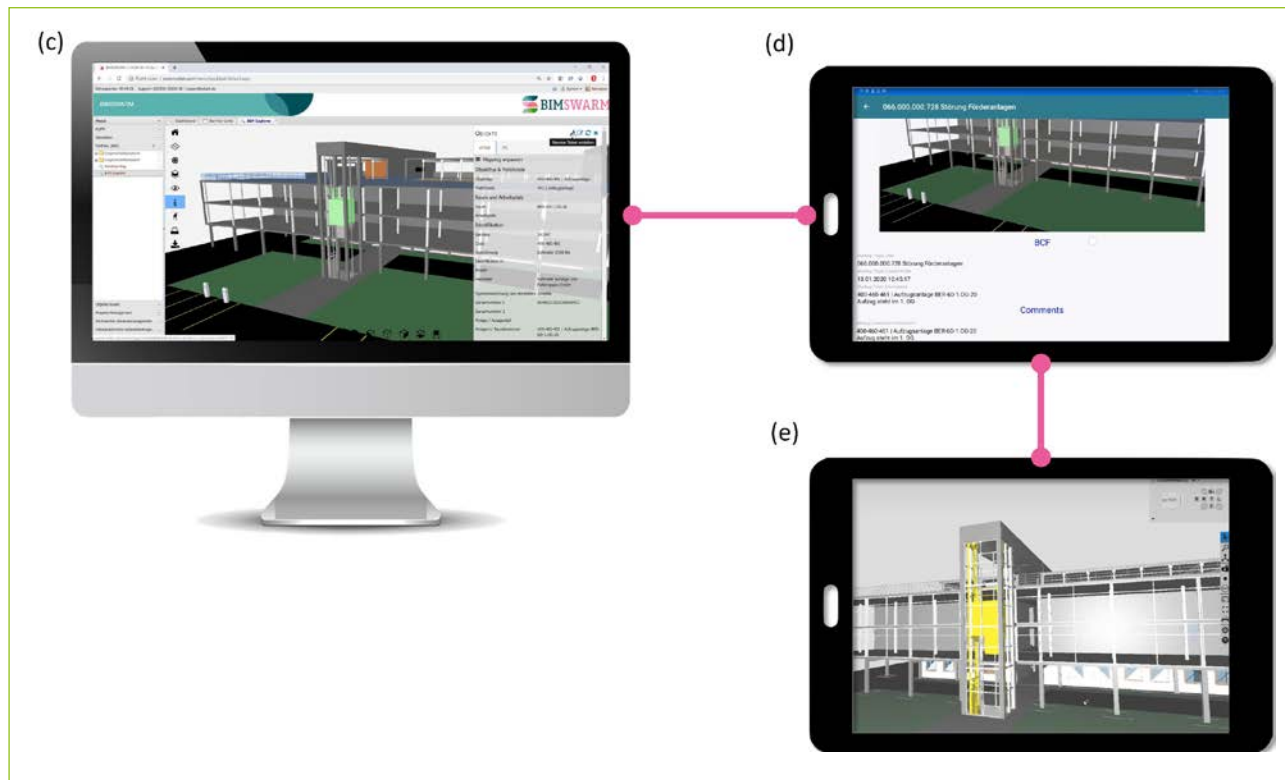


Abbildung 4: Aufzugsanlage im Asset-Informationsmodell mit den betriebsrelevanten Informationen (rot), die durch das BIM-Profil „Fördertechnische Anlagen inspizieren und warten“ vorgegeben werden (Quelle: BIMSWARM)

Fazit

Das Konzept der BIMSWARM-Toolchains bietet Nutzern von Bau-IT-Produkten die Möglichkeit, wiederverwendbare kompatible Prozessketten anwendungsfallbezogen zu definieren und auszuführen. Durch das Zusammenspiel mit dem Composer und der Zertifizierung (siehe Kapitel 4.2) kann die Kompatibilität von Bau-IT-Produkten wesentlich transparenter dargestellt und durch die Verwendung von einheitlichen openBIM-Standards und dem BIMSWARM-SSO optimiert werden. Das vorgestellte Konzept ist im Rahmen des Forschungsprojektes mehrfach durch interne Projektpartner aus der Bausoftwarebranche in Demonstratorszenarien und auch durch externe Softwareentwickler im Rahmen eines Hackathons evaluiert und ausgewertet worden. Eine kontinuierliche Verbesserung des Konzepts konnte somit sichergestellt werden. Die Machbarkeit wurde durch Prototypentests und Integrationstests bestätigt.

Ein maßgeblicher Vorteil, der sich aus der Nutzung von BIMSWARM-Toolchains ergibt, ist die Wiederverwendbarkeit von zertifizierten und etablierten Workflows auf Basis von konkreten, aber austauschbaren Anwendungen. Darüber hinaus wird durch die vorgestellte Referenzarchitektur der Aufwand beschränkt, der sonst durch die Implementierung von vielen verschiedenen Webschnittstellen unterschiedlicher Anwendungen auf eine Referenzschnittstelle und die zugehörigen offenen Dateistandards entsteht. Zusätzlich ist abzusehen, dass weitere standardisierte Formate auch als Webschnittstelle angeboten werden, sodass ein vollständiger asynchroner Datenaustausch in der Cloud, z. B. mit der JavaScript Object Notation (JSON) oder mit IFC eine realistische Perspektive darstellt. [11] BIMSWARM unterstützt durch das generische Konzept und die kontinuierliche Weiterentwicklung offener Standards diese Perspektive für das effiziente Datenmanagement im Bauwesen.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 19650: Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze, Beuth Verlag, 2019. <https://dx.doi.org/10.31030/3030494> [abgerufen: 17.12.2020].
- [2] Borrmann, André, König, Markus, Koch, Christian, and Beetz, Jakob: Building Information Modeling –Technology Foundations and Industry Practice, Springer International Publishing, 2018: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3> [abgerufen: 17.12.2020].
- [3] Juan, Du und Zheng, Qin: Cloud and openBIM-Based Building Information Interoperability Research, in Journal of Service Science and Management vol. 7(2), pp. 47–56, 2014. <http://dx.doi.org/10.4236/jssm.2014.72005> [abgerufen: 17.12.2020].
- [4] Afsari, Kereshmeh, Eastman, Charles, and Shelden, Dennis: Cloud-based BIM data transmission: Current status and challenges, in Proceedings of the 33th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2016: <https://doi.org/10.22260/IS-ARC2016/0129> [abgerufen: 17.12.2020].
- [5] Block, Marlea und Hagedorn, Philipp: Durchgängige Interoperabilität in BIM-basierten Workflows durch den Einsatz von Webschnittstellen, 31. Forum Bauinformatik Berlin, 2019: <https://doi.org/10.14279/depositonce-8763> [abgerufen: 17.12.2020].
- [6] ISO 19510 (2013), Information technology — Object Management Group Business Process Model and Notation, ISO/IEC 19510:2013.
- [7] DIN SPEC 91391: Gemeinsame Datenumgebungen (CDE) für BIM-Projekte – Funktionen und offener Datenaustausch zwischen Plattformen unterschiedlicher Hersteller, Beuth Verlag, 2019: <https://dx.doi.org/10.31030/3044839> [abgerufen: 17.12.2020].
- [8] ISO 21597: Information container for linked document delivery — Exchange specification — Part 1: Container, ISO 21597-1:2020, 2020.
- [9] Siriwardena Prabath: OAuth 2.0, in Advanced API Security: OAuth and Beyond. Apress, Berkeley, CA, 2014: https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6817-8_7 [abgerufen: 17.12.2020].
- [10] RFC 6749: The OAuth 2.0 Authorization Framework. Edited by Microsoft (D. Hardt). RFC Editor. Internet Requests for Comments 2012 (ISSN: 2070-1721, 6749): <https://tools.ietf.org/html/rfc6749> [abgerufen: 17.12.2020].
- [11] Afsari, Kereshmeh: Standard-based Data Interoperability of the Building Information Model in Cloud. 54th ASC Annual International Conference, Minneapolis, 2018.

4.2 Digitale Zertifizierung im Bauwesen

Olga Rimaskaia-Korsakova (planen-bauen 4.0 GmbH), Michael Theiler (planen-bauen 4.0 GmbH)

Die Rolle der Zertifizierungen im Bauwesen

Die Digitalisierung der Baubranche schreitet mit einem zunehmenden Tempo voran. Dabei führen Besonderheiten der Baubranche dazu, dass Standardisierungen von Strukturen und Prozessen sich nur mühsam durchsetzen können. Gründe hierfür sind z. B. die hohe Anzahl von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), ein großer Nachholbedarf im Bereich der Automatisierung, immer spezialisiertere Lösungen und nationale Spezifika im Ablauf von Bauprojekten.

In dieser Situation spielen Zertifizierungen von Bau-IT-Produkten (Anwendungen, Services und Content) eine entscheidende Rolle für die herstellernerneutrale Qualitätssicherung von Angeboten. Betrachtet man die Entwicklung von Zertifizierungssystemen im Bereich der Bausoftwarebranche, wird deutlich, dass die Anzahl an Zertifizierungsprogrammen in den letzten Jahren zugenommen hat. [1] Verfügbare Zertifizierungen basieren grundsätzlich auf bereits vorhandenen internationalen oder nationalen Standards. Auf der internationalen Ebene wird mit der DIN EN ISO 19650 die Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung, adressiert. [2] In der DIN EN ISO 16739 wird der Datenaustausch mit den Industry Foundation Classes (IFC) in der Bauwirtschaft beschrieben. [3] Auf nationaler Ebene werden Zertifizierungsprogramme zur VDI 2552 zum Thema Building Information Modeling (BIM) angeboten. [4] Mit dem GAEB-Datenaustauschstandard können Informationen über die Durchführung von Baumaßnahmen ausgetauscht werden. [5] Mit der GEFMA-Richtlinie 444 widmet sich eine nationale Zertifizierung den Anforderungen an das Computer-Aided Facility Management. [6] Vorhandene Zertifikate unterstreichen die Qualität von Softwareprodukten für spezifische Bereiche und unterstützen Bauherren und Softwareanwender bei ihrer Lösungsauswahl. Anbieter von Zertifizierungsdienstleistungen für Bausoftware sind in der Regel Verbände und Institutionen mit eigenen Zertifizierungsprogrammen, z. B. buildingSMART, Bundesverband IT-Mittelstand e. V., die German Facility Management Association (GEFMA), der Bundesverband Bausoftware e. V. (BVBS) oder der Verband für die Digitalisierung im Immobilienbetrieb CAFM RING. Zertifizierungen für Bausoftware bleiben in der Regel ein manueller Prozess, der die Beantragung, Prüfung, Zertifikaterstellung und Abrechnung sowie Datenverwaltung einschließt.

Neue Zertifizierungsmodelle auf einer digitalen Plattform

Die Plattform BIMSWARM⁵ adressiert die zunehmende Komplexität digitaler Bau-IT-Produkte für verschiedene individuelle Anwendungszwecke von Kunden mit modernen Instrumenten für eine herstellerunabhängige Qualitätssicherung. Eine unabhängige Qualitätssicherung hilft Anwendern von Bau-IT-Produkten, Kosten und Aufwände für Qualitätsprüfungen der einzusetzenden Lösungen zu reduzieren. Die technischen Möglichkeiten der BIMSWARM-Plattform erlauben es Zertifizierern, neue innovative Zertifizierungsmodelle zu entwickeln und anzubieten. Auf der BIMSWARM-Plattform werden ergänzend zu den etablierten produktspezifischen Zertifizierungen auch Zertifizierungen für anwenderspezifische digitale Prozesse auf Basis von sogenannten Toolchains (Produktkom-

⁵ www.bimswarm.de

ination) angeboten. Dabei können die von Anwendern erstellten Toolchains auf die Kompatibilität der verknüpften Produkte geprüft werden. Dies sichert dem Anwender einen reibungslosen Datenaustausch im Rahmen seines konkreten Anwendungsfalls und der ausgewählten Produktkombination. Auch die Eignung verschiedener Lösungen für bestimmte Produkttypen lässt sich auf der Plattform durch integrierte Listen von verpflichtenden und optionalen Merkmalen überprüfen und zertifizieren. Diese Vorgänge schaffen Transparenz und Vergleichbarkeit von Angeboten verschiedener Bau-IT-Produktanbieter.

Die Integration von Zertifizierungsanbietern in die BIMSWARM-Plattform ermöglicht eine Darstellung vorhandener Zertifikate, wodurch die Qualität von zertifizierten Bau-IT-Produkten hervorgehoben wird. Die BIMSWARM-Plattform unterstützt Anbieter und Zertifizierer zudem durch automatisierte Erinnerungen und Bestellprozesse. Abbildung 1 zeigt die Darstellung einer Zertifizierungsdienstleistung am Beispiel des GAEB-Datenaustauschstandards im BIMSWARM-Marktplatz.

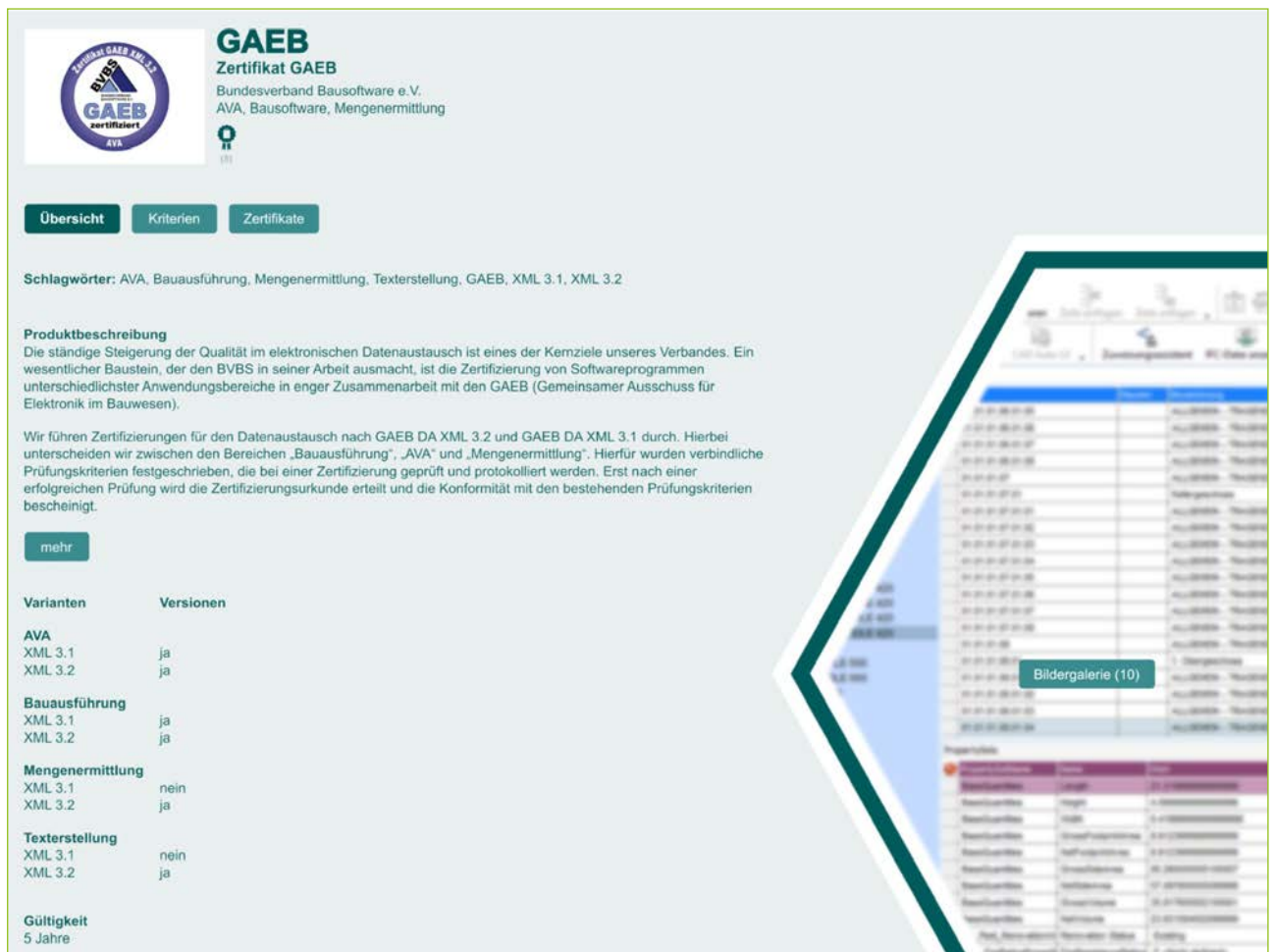


Abbildung 1: Darstellung der GAEB-Zertifizierung im BIMSWARM-Marktplatz – Detailseite der Zertifizierung: Übersicht, Kriterien, Zertifikate, Bildergalerie (Quelle: BIMSWARM)

Automatisierte Zertifizierung als neue Realität

Die zunehmende Komplexität von Bau-IT-Produkten erfordert spezifische Arten von Zertifizierungen, die gezielt auf konkrete Funktionen oder Datenstandards fokussiert sind, um die Qualität und Konformität mit Standards und Richtlinien zu validieren. Die geringe Anzahl von durchgeführten Zertifizierungen von Bausoftwareprodukten im Vergleich zu anderen Bereichen demonstriert die aktuellen Herausforderungen in der Bausoftwarebranche (siehe Abbildung 2). Zertifizierungen von Bausoftware benötigen in den meisten Fällen manuelle und äußerst aufwendige Prozesse. Dies führt dazu, dass die Preise der gängigen Zertifizierungen häufig im vier- bis fünfstelligen Euro-Bereich liegen, um die Kosten der Zertifizierer abzudecken. Infolgedessen können sich KMU aus der Bau-IT-Branche, die innovative Lösungen entwickelt haben und diese auf dem Markt verbreiten wollen, eine Zertifizierung nicht leisten. Daher bleiben ihre Lösungen – auch wenn die tatsächliche Qualität allen Anwenderanforderungen entspricht – für die Kundenseite außer Betracht. In vielen Fällen ist bei der Anschaffung von Bau-IT-Produkten das Vorhandensein bestimmter Zertifikate allerdings eine Voraussetzung. Dadurch benachteiligen Anwender sich teilweise selbst, da sie gute, jedoch nichtzertifizierte Lösungen aus dem Bieterkreis ausschließen. Mit der heutigen Geschwindigkeit der Zertifizierungsverbreitung kommt der Markt den Anforderungen der sich digitalisierenden Baubranche nicht hinterher.

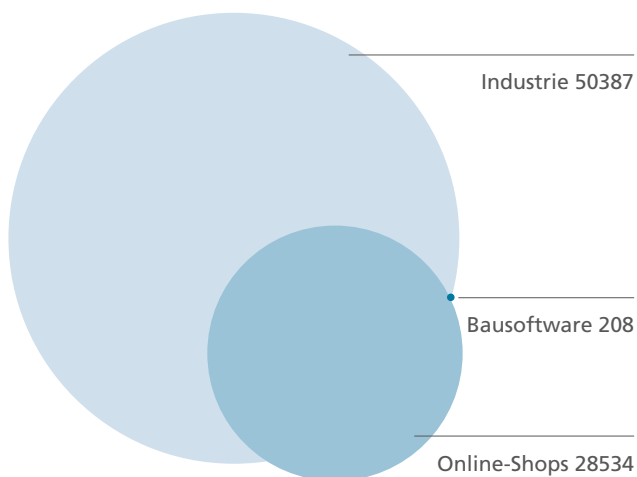


Abbildung 2: Anzahl der durchgeführten Zertifizierungen für Bausoftwareprodukte im Vergleich zu anderen Bereichen (Quelle: BIMSWARM-Recherche, 2020)

Zur Beschleunigung der Zertifizierungsverbreitung spielen automatisierte Zertifizierungen und Qualitätschecks eine wichtige Rolle. Mit automatisierten Werkzeugen können Funktionalitäten der Softwareprodukte geprüft und validiert werden. Automatisierte Zertifizierungen sind insbesondere für neue Produktkategorien sinnvoll, für die noch keine Standards entwickelt oder etabliert sind, wie z. B. für automatisierte Modelprüfungen, Virtual und Augmented Reality oder Künstliche Intelligenz. Die Integration mehrerer Produkte in Produktketten und anwenderkonfigurierte Lösungen über APIs erhöht die Relevanz der automatisierten Prüfung der Produktkompatibilität auf unterschiedlichen Ebenen (z. B. bei Datenaustauschformaten, Datenintegrität und Eignung für einen bestimmten Anwendungsfall).

Fazit

Die BIMSWARM-Plattform adressiert die oben genannten Herausforderungen der Zertifizierungsprozesse für die Bausoftware (Komplexität der Bau-IT-Produkte, manuelle Zertifizierungsabläufe, hoher Preis) und optimiert die Qualitätssicherung der Bau-IT-Produkte durch transparente Darstellung der Information über die Zertifikate, das Angebot von neuen Zertifizierungsarten und die Prozessautomatisierung. Als zentrale Anlaufstelle für verschiedene Arten von Zertifizierungen reduziert BIMSWARM den Aufwand für Recherche und Administration bei Endanwendern und IT-Produktanbietern.

Literatur

- [1] Bielefeld, Bert, Henze, Verena und Schneider, Roland: Sicherheit durch Zertifizierung im Bauwesen, 2011: https://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_Sicherheit_durch_Zertifizierung_im_Bauwesen__1112466.html [abgerufen: 17.12.2020].
- [2] DIN EN ISO 19650: Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerk-sinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2019.
- [3] ISO 16739: Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauwirtschaft und im Anlagenmanagement. International Organization for Standardization (ISO). Genf, 2018.
- [4] VDI 2552: Building Information Modeling (BIM). Verein Deutscher Ingenieure (VDI). Düsseldorf, 2020.
- [5] GAEB Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen: Organisation des Austauschs von Informationen über die Durchführung von Baumaßnahmen: GAEB-Datenaustausch XML. Bonn, 2020.
- [6] GEFMA: CAFM-Zertifizierung nach der Richtlinie 444: Überblick und Update, 2020: <https://www.gefma.de/hashtag/detail/digitalisierung-cafm/news/cafm-zertifizierung-nach-der-richtlinie-444-ueberblick-und-update/> [abgerufen: 17.12.2020].

4.3 Software-Containertechnologien für die Datenanalyse vernetzter Gebäudesensorik

Oliver Zichert (se commerce GmbH), Philipp Kopriwa (se commerce GmbH), Fabian Schmid (se commerce GmbH)

Das Bauwesen, geprägt von kleinen und mittleren Unternehmen, hinkt im Vergleich zu anderen Branchen bei der Digitalisierung hinterher, die Bestrebung nach stärkerer Einbindung digitaler Technologien und Prozesse nimmt jedoch stetig zu. Es werden auch hier Bauteile mit CAD-Programmen exakt geplant und automatisiert produziert, dennoch gibt es durch die große Anzahl an unterschiedlichen Akteuren noch viele Prozesse im Lebenszyklus eines Gebäudes, deren Potenzial nicht ausgeschöpft wird. Während beispielsweise in der Automobilindustrie der Einsatz von Algorithmen aus dem Maschinellen Lernen Einzug hält, gilt es in der Bauindustrie zunächst die Grundlagen für Data-Science-Projekte und somit für erste statistische Auswertungen im Unternehmen zu schaffen. Dabei sollen Messdaten vom Gebäude oder von der Baustelle zum Bauunternehmen oder zum Gebäudebetreiber gelangen und dort sowohl in Echtzeit verarbeitet als auch für Ad-hoc-Analysen der jeweils Verantwortlichen zur Verfügung gestellt werden. Mithilfe intelligenter Algorithmen können so Entscheidungen und Bewertungen automatisiert getroffen werden, um beispielsweise den Zustand eines Gebäudes über den Lebenszyklus zu überwachen oder die Sicherheit vor Ort zu gewährleisten und somit Zeit und Kosten zu sparen. Kritische Punkte sind hierbei fehlendes Know-how, die Zusammenführung heterogener Datenquellen und die fehlende Bereitschaft, größere Investitionen in die IT-Infrastruktur zu tätigen. [1]

An dieser Stelle kommen spezielle Open-Source-Technologien und die sogenannte Containervirtualisierung von Softwareanwendungen zum Tragen. Beide unterstützen bei der Verarbeitung von Big Data und verursachen einen nur geringen Kostenaufwand. [2] Mithilfe von Docker, der populärsten Software zur Containervirtualisierung, lassen sich Anwendungen in hoher Geschwindigkeit entwickeln, warten und skalieren. Container isolieren hierfür eine einzelne Anwendung mit ihren Abhängigkeiten vom zugrundeliegenden Betriebssystem und von anderen Containern, sie teilen sich aber dennoch ein gemeinsames Betriebssystem auf einem Server. Durch diese Struktur kann eine Anwendung in verschiedene Umgebungen und IT-Systeme eingebettet werden, sowohl auf der Baustelle, im fertig errichteten Gebäude als auch direkt am Unternehmensstandort. Darüber hinaus können unterschiedliche Entwicklungsstadien versioniert werden und jede Anwendung unabhängig gestartet und upgedatet werden. [3] Dies ermöglicht eine kontinuierliche Verknüpfung bestehender Geräte mit neu erworbenen IT-Komponenten, um größere Datenmengen zu sammeln und daraus neues Wissen zu generieren, um beispielsweise die Qualität im Unternehmen zu verbessern oder Prozesse zu optimieren.

Die Containervirtualisierung von Softwareanwendungen unterstützt bei der Verarbeitung von Big Data und verursacht nur einen geringen Kostenaufwand.

Typische Komponenten einer Big-Data-Architektur

Anwendungen im Bereich Big Data zeichnen sich durch die fünf Dimensionen Volumen, Geschwindigkeit, Vielfalt, Verlässlichkeit und Verwertbarkeit der Daten aus. Dabei steht das Volumen für deutlich größere Datensätze, die mit traditionellen Verarbeitungs- und Speichertechnologien nicht mehr effizient verarbeitet werden können. Dies hängt mit der zunehmenden Geschwindigkeit zusammen, mit der neue Daten inzwischen aus einer größeren Vielfalt heterogener Datenquellen generiert werden. Außerdem spielt speziell bei der Datenanalyse die Verlässlichkeit der Daten eine entscheidende Rolle, da die Qualität nur über eine gute Vorverarbeitung gewährleistet werden kann, um schließlich eine optimale Verwertbarkeit im Unternehmen zu erreichen. Data-Science-Projekte benötigen deshalb eine fundierte Systemarchitektur, die es ermöglicht, dass Daten effizient erfasst, verarbeitet und analysiert werden. Dabei stellt besonders der Einsatz von Echtzeitsystemen eine Herausforderung dar, da hierfür zusätzliche, spezifische Softwarekomponenten erforderlich sind. In diesem Zusammenhang haben sich die Lambda- und die Kappa-Architektur etabliert (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).



Abbildung 1: Aufbau der Lambda-Architektur (Quelle: seele, O. Zichert)

Die grundlegende Idee der Lambda-Architektur basiert auf zwei parallelen Datenflussebenen zur Batch- und zur Echtzeitverarbeitung nach der Datenerfassung (siehe Abbildung 1). Man spricht von Batch- bzw. Stapelverarbeitung, wenn ein Prozess bereits gespeicherte Daten zu einem späteren Zeitpunkt verarbeitet. Ein typischer Anwendungsfall sind über Nacht automatisch generierte Berichte, um die Performanz des letzten Tages einer Produktionslinie zu bewerten und dem Management zur Verfügung zu stellen. Echtzeit- bzw. Streamverarbeitung entspricht hingegen der kontinuierlichen Verarbeitung von Daten direkt zum Zeitpunkt der Generierung. Dadurch kann im Beispiel der Produktionslinie ein Problem sofort erkannt und noch am selben Tag entgegengesteuert werden. Die verarbeiteten Daten aus der Ebene zur Batchverarbeitung werden in der Lambda-Architektur anschließend in der obersten Schicht, der Serving-Ebene, gespeichert und dienen dem Nutzer für Ad-hoc-Auswertungen. [4]



Abbildung 2: Aufbau der Kappa-Architektur (Quelle: seele, O. Zichert)

Ein Nachteil dieser Architektur ist die Komplexität mit vielen verschiedenen Technologien und somit der hohe Aufwand zur Wartung des Programmcodes. Aus diesem Grund gewinnt die Kappa-Architektur mit nur einem Verarbeitungssystem an Beliebtheit (siehe Abbildung 2). Im Gegensatz zur Lambda-Architektur entfällt hier die Ebene zur Batchverarbeitung, es bleibt lediglich die Echtzeitverarbeitung bestehen. Von dort aus gelangen die errechneten Ergebnisse in die Serving-Ebene. Dadurch kann es bei mehrfach auftretenden Ereignissen und Querverweisen allerdings zur mehrfachen Verarbeitung derselben Daten kommen. Generell lässt sich konstatieren, dass für eine Big-Data-Architektur eine Kombination aus mehreren Frameworks vonnöten ist. Die für gewöhnlich eingesetzten Komponenten sind in Abbildung 3 dargestellt, hieraus können sowohl Lambda- als auch Kappa-Architekturen entstehen.

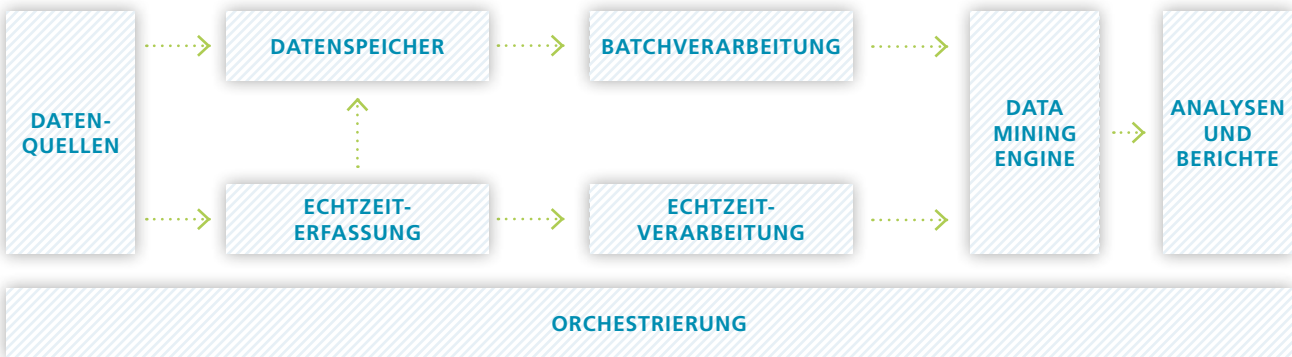


Abbildung 3: Typische Komponenten einer Big Data-Architektur (Quelle: seele, O. Zichert)

Dabei legen heterogene Datenquellen mit strukturierten und unstrukturierten Daten die Grundlage für das Verarbeitungssystem. Soweit lediglich Analysen auf Datenbanken durchgeführt werden sollen, sind Datenspeicher mit den notwendigen Metadaten, die den Datensatz genauer beschreiben, ausreichend. Sollen hingegen Echtzeitdatenquellen aus Internet of Things-(IoT-)Geräten wie Sensoren, Steuerungssystemen oder Maschinen angebunden werden, ist ein Modul zur Echtzeiterfassung notwendig, das Nachrichten unterschiedlicher Protokolle transformiert und in den Datenspeicher ablegt. Für die direkte Verarbeitung dieser Echtzeitdaten ist zusätzlich ein Modul zur Echtzeitverarbeitung erforderlich. Häufig werden hierbei über Tools zur Analyse und Verarbeitung großer Datenmengen, die Data Mining Engine, ankommende Streamingdaten mit Batchdaten verbunden und Algorithmen zugeführt. Dies kann entweder einmalig oder kontinuierlich geschehen. Die resultierenden Analysen oder Berichte werden den Nutzern anschließend über grafische Benutzeroberflächen wie Dashboards zur Verfügung gestellt, sodass nur noch die Ergebnisse bewertet werden müssen und ein tatsächlicher Mehrwert beim Unternehmen ankommt. Außerdem wird

zur Verwaltung des gesamten Systems und zur Überwachung der Komponenten in der Regel eine Orchestrierungssoftware eingesetzt. [5]

Anwendungsbeispiel: Structural Health Monitoring von Gebäuden

Structural Health Monitoring beschreibt den Prozess zur Schadensidentifikation in der Luftfahrt, im Maschinenbau und im Bauingenieurwesen. Dabei entspricht ein Schaden einer Veränderung im Material oder in der Geometrie des zugrundeliegenden Systems. Mithilfe von Structural Health Monitoring kann beispielsweise in einem intelligent vernetzten Gebäude eine kontinuierliche Beobachtung des Gebäudezustands mittels Sensoren in oder an Bauteilen zu einer Erhöhung der Sicherheit durch frühzeitige Erkennung, Lokalisierung und Klassifikation dieser Schäden führen. Somit kann die Lebensdauer eines Gebäudes verlängert werden, was sich letztendlich in einer Zeit- und Kostenersparnis über den gesamten Gebäudelebenszyklus niederschlägt. [6] Aufgrund der vielen verschiedenen Datenquellen und Parteien, wie Gebäudebetreiber, Eigentümer oder Baufirmen, die hier typischerweise miteinander verbunden werden müssen, ist eine definierte Systemarchitektur erforderlich, die dafür sorgt, dass die unterschiedlichen Interessen der Akteure abgedeckt werden. Dabei kann es sich beispielsweise um die Einhaltung von Wartungsverträgen, die Qualitätskontrolle von Bauteilen oder die korrekte Nutzung der Gebäudekomponenten handeln. Eine mögliche Architektur ist in Abbildung 4 dargestellt und wird im Folgenden erläutert. Dabei steht jede Anwendung für einen eigenen, isolierten Container in Docker. Das Gesamtsystem lässt sich somit über eine Orchestrierungssoftware wie Rancher verwalten.

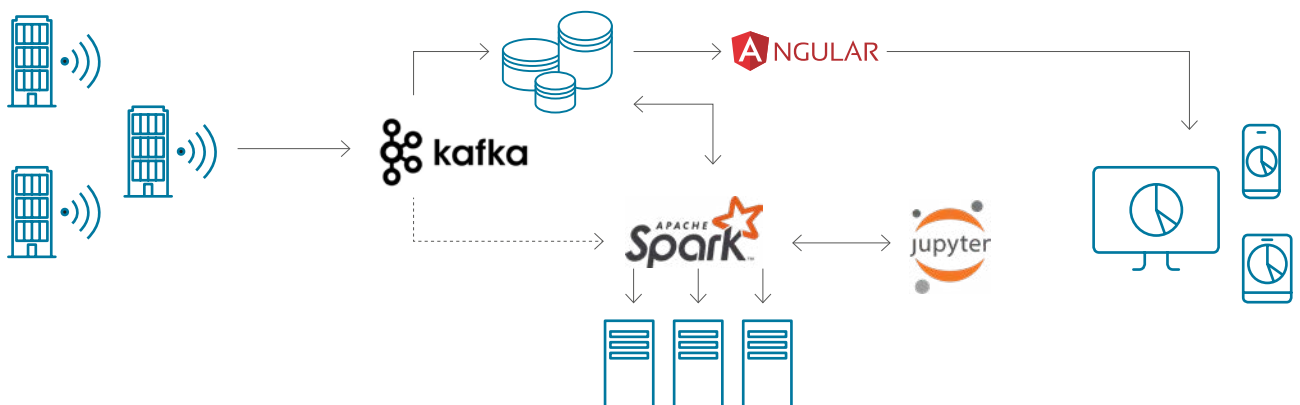


Abbildung 4: Datenfluss mit zugehörigen Systemarchitekturkomponenten für die Überwachung vernetzter Gebäude von der Generierung der Daten im Gebäude über die Verarbeitung und Auswertung bis zur Visualisierung über grafische Benutzeroberflächen (Quelle: seele, O. Zichert)

Die Echtzeiterfassung erfolgt durch die Datenstromverarbeitungssoftware Apache Kafka. Hierbei handelt es sich um ein Benachrichtigungssystem nach dem Publish-Subscribe-Prinzip zur Verarbeitung von Daten in verteilten Systemen. Dies bedeutet, dass beispielsweise ein Sensorknoten die zuletzt aufgenommenen Sensorwerte unter einem bestimmten Stichwort veröffentlicht und das Zielsystem gewünschte Themen abonnieren kann, um diese Sensordaten abzugreifen. Apache Kafka ermöglicht damit, dass neben unterschiedlichen Datenquellen, die sowohl an die Echtzeiter-

fassung weitergegeben als auch im Datenspeicher abgelegt werden, die Persistenz der Daten mit anderen Datenspeichern oder Gebäuden abgeglichen und sichergestellt werden kann. Dabei ist ein bidirektionaler Datenfluss mit allen Rechenzentren, die Apache Kafka einsetzen, möglich. [7] Im Kontext des Bauwesens kann so beispielsweise sichergestellt werden, dass alle Parteien die gleichen Sensordaten oder Baupläne zur Verfügung gestellt bekommen. Die Rechenzentren lassen sich hierfür mit einzelnen Docker-Container initialisieren und als Cluster miteinander verbinden. Dadurch ist es möglich, das System auch zu einem späteren Zeitpunkt zu skalieren.

Apache Spark empfiehlt sich hieran angebunden als Data Mining Engine. Es ermöglicht sowohl die Verarbeitung von Batch- als auch von Echtzeitdaten. Dank Open-Source-Technologie sind etliche Schnittstellen zu unterschiedlichen Datenquellen wie SQL- und NoSQL-Datenbanken vorhanden, die sich über einheitliche SQL-ähnliche Befehle ansteuern lassen. Weiterhin können Algorithmen des Maschinellen Lernens in verschiedenen Programmiersprachen geschrieben werden und deren Berechnung auf verschiedenen Rechnern verteilt werden. Dabei sieht der typische Ablauf wie folgt aus: Ein Algorithmus wird in einem Tool wie Jupyter Notebook geschrieben, die Verbindung mit dem Cluster Manager hergestellt und anschließend auf den Workern, also kleineren Recheneinheiten, gestartet. Wo und auf wie vielen Rechnern die Anwendung verteilt werden soll, kann hierbei konfiguriert werden. [8] Dadurch ist es möglich, die Last der Berechnungen aufzuteilen und beispielsweise Echtzeitanwendungen separat zu Ad-hoc-Analysen laufen zu lassen. In einer Produktionslinie können so beispielsweise Berechnungen zur Überwachung der Maschinen parallel zur Auswertung der Auslastung durchgeführt werden. Hierfür kann jede Komponente ebenfalls in einem eigenen Docker-Container gestartet werden.

Um schließlich Fachexperten Einblick in die gespeicherten Langzeitdaten zu ermöglichen, kann ebenfalls Jupyter Notebook bzw. JupyterLab für den Zugriff mit dem Datenspeicher verwendet werden. Dabei bieten die mit den Programmiersprachen Python oder R gewöhnlich schnell zu erstellenden Grafiken die Grundlage für eine explorative Datenanalyse zur Weiterentwicklung von Gebäudekomponenten. Hierfür können beispielsweise repetitive Analysen oder die Berichte aus dem vorangegangenen Beispiel als PDF-Dokumente erstellt werden. Denkbar sind allerdings auch weitere Tools, sodass nutzerspezifische Frameworks mit unterschiedlichen Programmiersprachen angebunden werden können. Diese können aufgrund der modularen Struktur der Anwendungen durch Docker-Container jederzeit hinzugefügt oder entfernt werden. Dadurch müssen Fachexperten unterschiedlicher Abteilungen nicht zwingend eine neue Technologie erlernen, sondern können weiterhin auf ihre bisherigen Werkzeuge setzen.

Handelt es sich hingegen um Nutzer, die keine Programmierkenntnisse besitzen, so sind grafische Benutzeroberflächen wie Dashboards nützlich, mit denen Daten per Mausklick untersucht werden können. Angular ist beispielsweise ein Tool für Webapplikationen, die über jeden herkömmlichen Webbrowser verschiedenen Nutzern auf verschiedenen Endgeräten zur Verfügung gestellt werden können. Die Vorverarbeitung der Daten kann dabei erneut über Apache Spark geschehen, von wo aus die Ergebnisse der Algorithmen in Datenbanken und Visualisierungen abgespeichert werden oder als Events in einem plattformunabhängigen Datenformat wie JSON direkt an das Dashboard

Mithilfe der Open-Source-Lösungen kafka, Spark, jupyter und Angular lässt sich die komplette Infrastruktur zur Überwachung vernetzter Gebäude von Datengenerierung bis zum Überwachungs-Dashboard realisieren.

übertragen werden. So können unternehmensweite und sogar gebäudeübergreifende Entscheidungen automatisiert und den relevanten Personen bereitgestellt werden, um beispielsweise die notwendigen Schritte für Reparaturen rechtzeitig einleiten zu können. Eine Alternative zur Erstellung von Dashboards mit weniger Programmieraufwand bieten das R-Framework Shiny oder das Python-Pendant Dash. Auch immer mehr populäre Business Intelligence Tools bieten inzwischen die Möglichkeit zur Installation als Container.

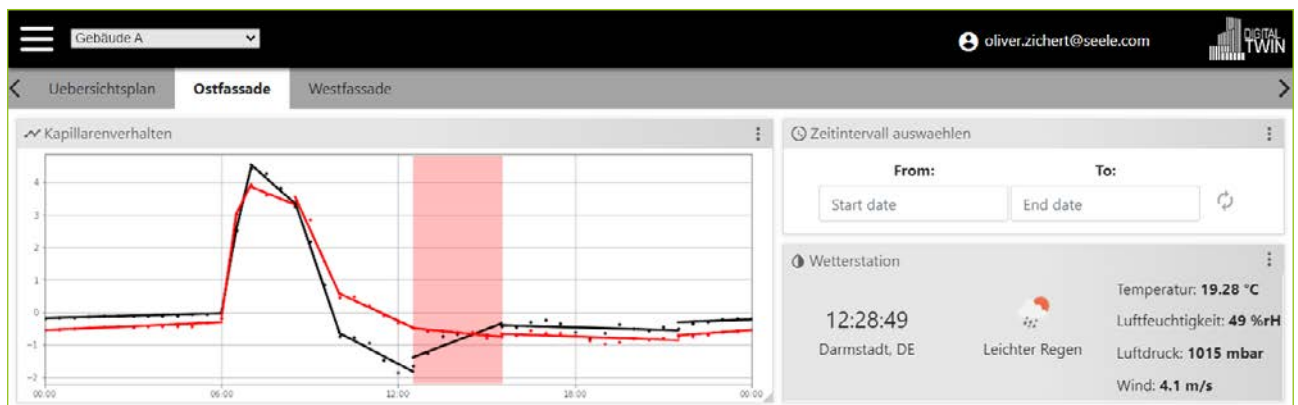


Abbildung 5: Dashboard mit integrierten Widgets zur Abweichungserkennung (Quelle: seele, O. Zichert)

Ein Beispiel für eine solche grafische Benutzeroberfläche findet sich in Abbildung 5. Ist ein solches Tool einmal eingerichtet, können projektübergreifende Komponenten, auf Dashboards bezogen sogenannte Widgets, erstellt und wiederverwendet werden. Dabei erfolgt die Konzipierung ebenso modular wie die Erstellung der Docker-Container. Die Visualisierung eines Algorithmus zur Detektion von Anomalien in Sensordaten aus dem Gebäude im linken Widget kann also auch auf andere Zeitreihen, Algorithmen und Gebäude angewendet werden. Eine nutzerfreundliche Übersicht relevanter Informationen kann so den Fachexperten individuell zur Verfügung gestellt werden, was die Entscheidungsfähigkeit im Unternehmen erheblich beschleunigt. Filterfunktionen und das Konfigurieren von Widgets lassen den Endnutzer mit den aufbereiteten Daten interagieren. Aus den durch die Systemarchitektur mithilfe komplexer Algorithmen verarbeiteten Daten ist somit eine leicht verständliche Darstellung entstanden, die allen beteiligten Abteilungen und Firmen zur Verfügung gestellt werden kann. Dabei können die Abteilungen durch die Containervirtualisierung die Stärken verschiedener Programmiersprachen nutzen und somit die ihnen bekannten und für gewöhnlich eingesetzten Tools integrieren.

Fazit

Software zur Containervirtualisierung wie Docker senkt die Einstiegshürde für Data-Science-Projekte unabhängig davon, ob es sich um prototypische Testprojekte handelt oder die Anwendung später modular erweitert werden soll. Dabei lassen sich etliche Szenarien über Container abbilden, sodass für im Bauwesen typischerweise kleinere Unternehmen schnell und dank Open-Source-Software kostengünstig plattformübergreifende Applikationen entstehen können. Durch die Isolierung der Anwendungen samt ihren Abhängigkeiten ist eine einfache Wartung, Skalierung und Übertragung auf andere IT-Systeme jederzeit möglich. Eine beispielhafte Architektur mit Komponenten zur Datenanalyse, die diese übergreifenden Quellen nutzt, wurde in diesem Beitrag vorgestellt. Dabei ist die Wiederverwendbarkeit sowohl durch reproduzierbare Container und Widgets als auch durch vielseitige Softwarekomponenten gewährleistet. Dadurch können vielfältige Anwendungsszenarien abgebildet werden und die relevanten Informationen in eine für den Endnutzer leicht verständliche Darstellung gebracht werden. Einen guten Anhaltspunkt für ein strukturiertes Vorgehen bei der anschließenden datenbasierten Analyse bietet beispielsweise der Standardprozess für das Data Mining CRISP-DM [9]. Mit einer soliden Datenbasis lassen sich nach diesem Schema neue Erkenntnisse und Mehrwerte generieren, um auch in den kleinteilig strukturierten Märkten der Bau-Wertschöpfungskette von den Vorteilen der Digitalisierung zu profitieren oder neue, vernetzende Geschäftsmodelle zu erschließen.

Literatur

- [1] KfW Bankengruppe: KfW-Digitalisierungsbericht Mittelstand 2019. KfW Research, 2019: <https://www.kfw.de/KfW-Konzern/KfW-Research/Digitalisierung.html> [abgerufen: 17.12.2020].
- [2] Merkel, Dirk: Docker: Lightweight Linux containers for consistent development and deployment. Linux Journal, 2014: <https://www.linuxjournal.com/content/docker-lightweight-linux-containers-consistent-development-and-deployment> [abgerufen: 17.12.2020].
- [3] Öggel, Bernd und Kofler, Michael: Docker: Das Praxisbuch für Entwickler und DevOps-Teams. Rheinwerk, 2018.
- [4] Sanla, Apisit and Numnonda, Thanisa: A Comparative Performance of Real-time Big Data Analytic Architectures. 2019 IEEE 9th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC), 2019.
- [5] Freiknecht, Jonas and Papp, Stefan: Big Data in der Praxis. Carl Hanser Verlag, 2018.
- [6] Farrar, Charles and Worden, Keith: An Introduction to Structural Health Monitoring. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, S. 365, 2007.
- [7] Palino, Todd, Narkhede, Neha, and Shapira, Gwen: Kafka The Definitive Guide. Real-Time Data and Stream Processing at Scale. O'Reilly Media, 2017.
- [8] Databricks: The Data Scientist's Guide to Apache Spark, 2017.
- [9] Shearer, Colin: The CRISP-DM Model: The New Blueprint for Data Mining, in Journal of Data Warehousing, vol. 5, pp. 13–22, 2000.



5

Zusammenfassung und Ausblick

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Digitalisierung im Baubereich schreitet kontinuierlich voran. Die technischen Möglichkeiten des Building Information Modeling werden zunehmend erweitert. Technologien wie Muster- und Bilderkennung, Blockchain (allgemein: Distributed-Ledger-Technologien) sowie Augmented und Virtual Reality verbessern die digitalen Prozesse im Bauwesen und beugen Fehlern und Fehlmanagement vor. Softwaretools wie Container und Mikroservices beschleunigen und vereinfachen Umsetzung und Anwendung neuer intelligenter Softwarelösungen. Erste Anwendungen Künstlicher Intelligenz werden erprobt (z. B. Mustererkennung für die digitale Weiterverarbeitung analog zu vorliegenden Daten).

Für den Einsatz digitaler Technologien ist die Verfügbarkeit leistungsfähiger Informations- und Kommunikationstechnik unabdingbar, auf der Baustelle aber heute noch nicht selbstverständlich. Mit neuen mobilen leistungsfähigen Funktechniken und mobilen Routerlösungen kann zukünftig jedoch auch eine Großbaustelle flächendeckend mit Breitband-Internet versorgt werden, sodass Echtzeit-Datenübertragung und papierlose Dokumentation ermöglicht werden.

Des Weiteren kann BIM nicht nur auf die Bauprozesse, sondern auch für die Abrechnungsverfahren und den Betrieb des erstellten Gebäudes herangezogen werden. Das aktuell noch recht komplexe und träge Abrechnungssystem kann durch den Einsatz neuer Softwarelösungen und Blockchain-Technologie vereinfacht sowie die Einzelprozesse beschleunigt und nachvollziehbar dokumentiert werden. Die vor, während und nach dem Bauprozess generierten Daten können dann gesammelt und allen interessierten Bauprojekt-Parteien und Gewerken vollumfänglich bereitgestellt werden.

Den Anbietern interessanter digitaler Einzellösungen – beispielsweise die Datenerfassung per Drohnenbefliegung oder ein gutes Baufortschritts-Dokumentationstool – bietet ein Online-Marktplatz die Möglichkeit, ihre Lösungen vorzustellen, zertifizieren zu lassen und die Kompatibilität zu anderen Softwarelösungen prüfen zu lassen.

Welche Entwicklungen sind in den nächsten Jahren zu erwarten? Wird sich die Rolle des Menschen in der Baubranche verändern?

Die Prozesse und die Rolle des Menschen in der Baubranche werden sich mit zunehmender Digitalisierung nicht grundlegend verändern. Die Aufgabe der Digitalisierung liegt in der Unterstützung.

In der Bauwirtschaft sind Kooperation und eine einheitliche Datenbasis sehr wichtig. Durch die Beteiligung vieler verschiedener Gewerke, die über den Verlauf des Gebäudelebenszyklus teilweise auch wechseln, liegt hier der größte Fokus. Zudem sind menschliche Expertise und insbesondere Erfahrung von sehr großer Bedeutung. Bauprojekte weisen nach wie vor häufig eine hohe Problem- und Fehlerquote auf. Die beiden wesentlichen Ursachen sind zum einen die in nur wenigen Vorhaben umgesetzte Vernetzung und Echtzeitkommunikation, zum anderen aber auch menschliche Fehlleistungen (Planungsfehler, Messfehler, Einbaufehler etc.). Die Weiterentwicklung von BIM durch den Einsatz digitaler Tools (DigitalTWIN), die Vernetzung und Zertifizierung von Software-Anbietern (BIMSWARM), den Aufbau von Vernetzungsplattformen (SDaC) und die Modernisierung des Abrechnungswesens (BIMcontracts) adressiert bereits wesentliche Fehlerursachen und erhöht die Prozesseffizienz. Schwieriger zu beheben sind menschliche Fehlleistungen, die ebenfalls eine häufige Ursache für Verzögerungen, zusätzliche Kosten und Rechtsstreitigkeiten sind. Um aus vergangenen Fehlern lernen zu können, müssten diese analysiert und ganzheitlich ausgewertet werden, da sich viele Prozesse in den unterschiedlichen Projekten wiederholen oder ähnlich sind. Methoden der Künstlichen Intelligenz wie Mustererkennung, aber auch Assistenzsysteme wären hier hilfreich. Anhand historischer Fehlerdaten könnten Häufigkeiten ermittelt werden, um dort gezielt mit der Analyse und entsprechenden Software gestützten Maßnahmen anzusetzen. Beispielsweise könnte dann während des Planungsvorgangs von einem Assistenzsystem gewarnt werden, wenn anhand des Modells bereits erkennbar ist, dass Funktionalitäten bestimmter Komponenten eingeschränkt werden.

Die Weiterentwicklung von BIM durch den Einsatz digitaler Tools, die Vernetzung und Zertifizierung von Software-Anbietern, den Aufbau von Vernetzungsplattformen und die Modernisierung des Abrechnungswesens adressiert bereits wesentliche Fehlerursachen und erhöht die Prozesseffizienz.

Die Prozesse und die Rolle des Menschen in der Baubranche werden sich mit zunehmender Digitalisierung nicht grundlegend verändern. Bauvorhaben werden weiterhin aufgrund ihrer Komplexität und Vielfältigkeit ein hohes Fachwissen und viel Erfahrung erfordern. Jedes Bauprojekt

ist mit anderen Herausforderungen verbunden, die sich häufig erst in der Umsetzungsphase zeigen und dann bewältigt werden müssen. Die Aufgabe der Digitalisierung liegt hier in der Unterstützung in allen Phasen des Bau- und Betriebsprozesses, um bei der Lösung der komplexen Aufgabenstellungen idealerweise schon in den frühen Phasen Fehler und Verzögerungen zu vermeiden.

