

Prof. Dr.  
**Jens Otto**

Leiter des Institutes  
für Baubetriebswesen  
an der TU Dresden

Prof. Dr. Jens Otto

## „Bauen 4.0“ – Innovationen in der Bauwirtschaft

„Bauen 4.0“ beschreibt einen Fachterminus, der in eine zeitgemäße und innovative Arbeitswelt im Jahr 2020 zu passen scheint. In Anlehnung an den Ausdruck „Industrie 4.0“ mag es die logische Schlussfolgerung sein, die Begrifflichkeit in das Bauwesen zu übertragen. Industrie 4.0 beschreibt dabei die Vernetzung von Prozessen und Abläufen zwischen Maschinen und Menschen mithilfe von IT- und Kommunikationstechnologie. Nach der ersten industriellen Revolution, der Mechanisierung mittels Wasser- und Dampfkraft, der zweiten industriellen Revolution, der Elektrifizierung und Automatisierung und der dritten industriellen Revolution, der Digitalisierung, soll Industrie 4.0 für die vierte industrielle Revolution, der Vernetzung, stehen. Die Vernetzung bezieht sich dabei auf das strategische Sammeln, Auswerten und Nutzen von Daten, um Wissen schneller zu generieren und Prozesse automatisiert steuern zu können. Inwieweit der Begriff Bauen 4.0 diesen Ansprüchen gerecht wird, soll nachfolgend auszugsweise betrachtet werden. Die Messlatte liegt jedoch sehr hoch.

### Bauen 4.0 – können wir das schon?

Bauen 4.0 leitet sich zwar vom Begriff Industrie 4.0 ab, wird im allgemeinen Sprachgebrauch jedoch häufiger in Zusammenhang mit der Digitalisierung und (Teil-)Automatisierung von Prozessen der Baubranche als der Vernetzung von Informations- und Kommunikationstechnologien gebracht. Die verzerrte Definition, im Gegensatz zum Begriff Industrie 4.0, lässt sich zu einem großen Teil auf den Digitalisierungsgrad in der Baubranche zurückführen. Dieser ist beispielsweise auch laut einer Studie der deutschen Telekom aus dem Jahr 2020 im Vergleich zu anderen Branchen, wie Telekommunikation, Logistik, Banken oder der stationären Industrie deutlich niedriger und liegt mit 52 Indexpunkten auf dem vorletzten Platz.<sup>1</sup> Der branchenübergreifende Durchschnitt liegt bei 56 Indexpunkten, die Spannweite reicht von 51 bis 65 Punkten.

Der bisher in der Baubranche umgesetzte geringe Digitalisierungsgrad lässt vermuten, dass der nächste Schritt, die Vernetzung von Informationstechnologien, noch keine hohe Umsetzung in der Baubranche erfährt. Vielmehr wird sich mit der generellen Digitalisierung im Planungs-, Realisierungs- und Verwertungsprozess beschäftigt. Sinnvolle und effiziente Anwendungen von vernetzter Informationstechnologie und (teil)automatisierten Bauverfahren sind jedoch auch in der Baubranche denkbar, werden zumindest prototypisch eingesetzt und im Bereich der universitären Forschung untersucht. In dem Zusammenhang

<sup>1</sup> <https://www.digitalisierungsindex.de/>

# Bauen 4.0

darf allerdings nicht vergessen werden, dass die Rahmenbedingungen der Bauindustrie oft konträr zu denen der vorgenannten Branchen sind. Im Vergleich zur stationären Industrie grenzt sich die Bauindustrie vor allem durch sehr komplexe, kostenintensive Produkte ab, die technisch anspruchsvoll, in oft kurzer Bauzeit, einmalig und höchst individuell mit schwierigen Randbedingungen erstellt werden. Die stationäre Industrie, mit ihren standardisierten, sich stetig wiederholenden Prozessen, eigenständig entworfenen Produkten und nur äußerst begrenzten individuellen Anpassungen für den Endkunden, hat deutlich einfachere Möglichkeiten für eine effiziente Digitalisierung und Vernetzung der Planungs- und Fertigungsprozesse. Digitalisierung und Automatisierung geht immer mit Standardisierung und Vorfertigung einher, ein Fakt, der auch zu einem Umdenken in der Bauindustrie führen wird. Baubegleitendes Planen gehört dann der Vergangenheit an.

## Bauen 4.0 = BIM?

Im Zusammenhang mit Bauen 4.0 und der Digitalisierung in der Bauwirtschaft kommt man nicht umhin, sich mit BIM (Building Information Modeling) auseinanderzusetzen. Es gilt in der Branche als die Grundlage, um eine Digitalisierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette Bau zu realisieren. BIM dient dabei als Sammelstelle für alle projektrelevanten Daten sowie dem Austausch von Informationen aller Projektbeteiligten. Gleichzeitig stellt es eine kollaborative Planungsmethodik dar und damit eher die grundsätzliche Digitalisierung der Planung als die Vision vom vernetzten Bauen. Bauen 4.0 ist also mehr als nur BIM.

Die Anwendung von BIM soll den Planungs- und Bauprozess effizienter und kooperativer gestalten sowie Fehlerquellen minimieren. Voraussetzung für eine gelingende Anwendung ist die Bereitstellung, Verarbeitung und der Austausch projektrelevanter Daten. Für den Planungsprozess stellt die Erstellung eines 3D-Gebäudemodells die Basis dar. Hinzu kommen bauteilspezifische Daten mit qualitativen, materialspezifischen sowie zeitlichen und monetären Inhalten. Damit stehen erstmals digital verarbeitbare Informationen über die bauliche Anlage zur Verfügung. Diese sind Grundlage für jegliche weitere Automatisierung auf der Baustelle und Integration von vernetzten Technologien – BIM ist damit die Grundlage für Bauen 4.0.

Die Integration von BIM im Bereich des Planungsprozesses ist bisher am weitesten fortgeschritten und etabliert sich langsam. Für die Phase des Bauprozesses sowie der Bewirtschaftung und Unterhaltung baulicher Anlagen werden die Potenziale von BIM weit weniger genutzt, obwohl sich erst in dieser Phase der beträchtliche Mehraufwand gesamtwirtschaftlich betrachtet rechnet. In der Phase der Planung und Bauausführung liegen die größten Potenziale der digitalisierten Planung in der gewerkeübergreifenden Interaktion

# Bauen 4.0

(Rohbau, TGA, Fassade usw.), 3D-Animation (Visualisierung, Simulation, Animation, VR-Technologie), automatisierten Planprüfung (Kollisionsprüfung) sowie computergestützten Datenauswertung jeglicher Art (Mengenermittlung, Materiallisten, Mängelverfolgung, Filterfunktionen, Dokumentation usw.). Leider ist die Anwendung der Methodik noch immer sehr uneinheitlich. Während große Baufirmen BIM als Standard für Planung und Ausführung einsetzen, haben viele kleine Baufirmen BIM noch nie genutzt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass zukünftig zumindest bei größeren Projekten die Planung mit Hilfe von BIM Standard ist.

## Ist Datenmanagement der Schlüssel zum Bauen 4.0?

Insbesondere in der Phase des Bauprozesses, also bei der Umsetzung von Bauprojekten, gibt es noch viele Potenziale zur Digitalisierung und zur Vernetzung von Informations- und Kommunikationstechnologien, die bisher nicht genutzt werden. Auf der Baustelle steckt Bauen 4.0 noch in den Kinderschuhen. Insbesondere bei der Bauausführung selbst können viele Prozesse durch Digitalisierung, Automatisierung und Vernetzung unterstützt und damit effizienter und sicherer ausgeführt werden. Die Grundlage dafür bildet das Bereitstellen und Sammeln von Daten. Daraus wird mit Hilfe intelligenter Algorithmen automatisiert und zeitnah neues Wissen generiert, welches Grundlage für die Steuerung und Vernetzung verschiedener Technologien ist.

Das Sammeln von Daten auf der Baustelle kann neben BIM mittels Technologien zur automatisierten Datenerfassung erfolgen. Solche Erfassungssysteme lassen sich in die Bereiche Identifikation von Bauteilgeometrien und Identifikation mittels Objekt-ID sowie Ortungstechnologien unterscheiden. Zur Identifikation von Bauteilgeometrien findet das Laserscannen sowie die Photo- und Videogrammetrie bereits Anwendung. Mittels dieser Techniken lässt sich der Baufortschritt überwachen und sehr präzise digital abbilden. Durch drohnengestützte Videogrammetrie könnten beispielsweise Arbeitsabläufe auf der Baustelle dokumentiert werden. Für die bessere Gefahrenvermeidung von Absturz, Stromschlägen oder Einklemmen zwischen Objekten können die Arbeitskräfte mit smarten Geräten (Wearables) ausgestattet werden, die dann in Echtzeit Standort- und Vitaldaten auswerten. Durch die Integration solcher Sensoren, in beispielsweise Westen, Helmen oder Handschuhen, kann die Arbeitssicherheit der Arbeitskräfte verbessert werden. Die Identifikation von Bauteilen mittels Objekt-ID, z. B. RFID, QR-Code oder GPS-Ortung, ist insbesondere im Bereich des Transports und der Logistik zur und auf der Baustelle effizient einzusetzen. Eine zukünftige Weiterentwicklung für die Analyse von Daten ist durch Big Data und Künstliche Intelligenz (KI) zu erwarten. Eine Einsparung von bis zu 20 Prozent wird dem Einsatz von KI und Robotik bereits vorausgesagt.<sup>2</sup> Über die strategische Auswertung verschiedenster Daten auf der Baustelle ist eine automatisierte, zeitnahe und permanente

<sup>2</sup> <https://www.bitstonecapital.com/>

# Bauen 4.0

105

Leistungsermittlung möglich, was zu einer äußerst effizienten Leistungsfeststellung führen könnte. Möglich wäre das über die Auswertung von sogenannten Datenpunkten, die ergänzend zum 5D-BIM-Modell aus Informationen von beispielsweise Zutrittskontrollen auf der Baustelle, GPS-Verfolgung von Arbeitskräften, Baumaschinendaten, digitalen Lieferscheinen, Sensordaten von Bauteilen und Materialdaten sowie manuellen Statusmeldungen gewonnen werden. Ähnlich der App-Technologie bei Smartphones werden zukünftig verschiedene Softwareprogramme auf diese Daten zugreifen, diese analysieren, automatisiert neues Wissen generieren und mit Hilfe von Assistenzsystemen vielseitige Serviceleistungen für alle am Bau Beteiligte anbieten. Unterschiedliche Forschungsprojekte beschäftigen sich an verschiedenen Universitäten mit geeigneter Plattformentwicklung zur Nutzung dieser Technologien.

## Zukunftsvisionen für das Bauen 4.0

Bauen 4.0 soll in Zukunft aber nicht nur das Sammeln und Analysieren von Daten beinhalten. Die Vernetzung der Daten auf der Baustelle, beispielsweise bei Baumaschinen, sowie die Anwendung neuer Technologien auf der Grundlage der Bereitstellung digitaler Daten, z. B. beim Betondruck, werden zukünftig eine wichtige Rolle für einen effizienten Bauprozess spielen. Automatisierte Verfahren bieten dabei den großen Vorteil, schnell gleichbleibend hohe Qualität mit sehr geringem personellem Aufwand 24 Stunden pro Tag zu erzeugen und zu dokumentieren. Im Folgenden werden einige zukunftssträchtige Technologien aus Forschung und Entwicklung vorgestellt und Anwendungsszenarien aufgezeigt. Des Weiteren wird auch auf internationale Studien und Veröffentlichungen im Hinblick auf Produktivitätssteigerung mithilfe der Digitalisierung hingewiesen.<sup>3</sup>

## Alternative Fertigungen mit Beton-3D-Druck

In vielen Branchen wird das additive Fertigungsverfahren als die zukunftsweisende Technologie angesehen. Der Prozess des 3D-Druckverfahrens zeichnet sich durch den großen Automatisierungsgrad sowie die kostengünstige jedoch individuelle Fertigung von Einzelteilen aus. Für die Baubranche kommen weitere Vorteile zum Tragen und zwar die Ressourceneffizienz sowie eine gesteigerte Arbeitsproduktivität. Die Forschung an 3D-Betondruckverfahren scheint somit ein logischer Schritt, um das automatisierte Bauen voranzutreiben. Die TU Dresden forscht im Rahmen additiver Fertigungsprozesse am vollwandigen Beton-3D-Druck, genannt CONPrint3D®.<sup>4</sup> Mithilfe einer modifizierten Auto-betonpumpe soll über einen Druckkopf der Beton extrudiert werden. Der Fertigungsprozess ermöglicht es, den Mauerwerksbau zu ersetzen und dabei sowohl Bauzeit als auch

<sup>3</sup> <https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-construction-A-route-to-higher-productivity-Full-report.pdf>

<sup>4</sup> <https://tu-dresden.de/bi/wibb/forschung/beton-3d-druck>

# Bauen 4.0

Baukosten zu sparen. Voraussetzung für den Einsatz von Beton-3D-Druck stellt wieder die Verarbeitung und Bereitstellung von geometrischen, materialspezifischen und maschinenabgestimmten Daten dar. An dieser Stelle kann BIM wieder für das Datenmanagement dienen und als Basis für das 3D-Gebäudemodell herangezogen werden, aus dem automatisiert die erforderlichen Maschinensteuerungsdaten umgewandelt werden können. Aktuell laufen die Forschungsarbeiten an der Umsetzung von Eins-zu-eins-Modellen, der Herstellung von räumlichen Bewehrungskörben und der Integration von Bewehrung im gedruckten Beton.

## Digitale Zwillinge für optimierte Instandhaltungskonzepte

Ein weiteres vielversprechendes Anwendungsfeld im Rahmen von Bauen 4.0 ist die digitale Zustandsüberwachung von Bauwerken mithilfe von Structural Health Monitoring (SHM) in Kombination mit einer Datenüberwachung im digitalen Bauwerksmodell. Das Forschungsprojekt DiMaRB untersucht beispielsweise in dem Zusammenhang die digitale Instandhaltung von Eisenbahnbrücken.<sup>5</sup> Dabei werden kontinuierliche Inspektions- und Monitoringdaten über Sensoren am realen Bauwerk mit einem digitalen Zwilling verbunden. Durch die intelligente Verknüpfung von automatisierten, neu konzipierten Messsystemen mit seinem digitalen Abbild, können effiziente Instandhaltungskonzepte entwickelt werden. Sowohl die Instandhaltungskosten als auch der Instandhaltungszeitpunkt können schadensabhängig unter variierenden Randbedingungen simuliert und damit vorhergesagt werden. Die intelligente und digitale Überwachung von Bauwerken liefert eine nachhaltige Möglichkeit, um eine permanente Überwachung über den gesamten Lebenszyklus zu realisieren.

## Automatisierte Baumaschinen und -prozesse auf der Baustelle 4.0

Im Rahmen des Verbundprojektes „Bauen 4.0“ wird das Thema des digitalen und vernetzten Bauens auf der Baustelle in drei Schwerpunkten untersucht.<sup>6</sup> Einen Schwerpunkt stellt die Erforschung von automatisierbaren, vernetzten Arbeitsmaschinen für Automatisierungs- und Überwachungslösungen auf der Baustelle dar. Der zweite Schwerpunkt bezieht sich auf die Kommunikationsfähigkeit der Maschinen und eine Vernetzung über 5G-Technologie. Über die Entwicklung einer Baustellen-Cloud soll die Kommunikation der Maschinen ermöglicht werden. Der dritte Forschungsschwerpunkt beschäftigt sich mit der Digitalisierung von Prozessen und Lösungen für eine digital vernetzte Baustelle und legt somit die Basis für die Verarbeitung verschiedenster Daten auf der Baustelle. Dabei spielt z. B. das Tracing und Tracking von Personen, Geräten und Materialien eine große Rolle, also die

<sup>5</sup> <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/dimarb.html>

<sup>6</sup> <https://verbundprojekt-bauen40.de/>

# Bauen 4.0

Nachvollziehbarkeit und Transparenz von Ressourcenverbräuchen auf der Baustelle. Das Zusammenspiel der drei Schwerpunkte kann beispielsweise die automatische Steuerung von Baggern zur Herstellung von gekrümmten Böschungen im Einschnittbereich von Straßen ermöglichen. Denkt man an die Leistungsfähigkeit von Fahrzeugassistenzsystemen bei PKWs und die Entwicklungen beim autonomem Fahren, ist sehr gut vorstellbar, wie in Kombination mit dem BIM-Modell und vielen weiteren Dateninformationen im Baufeld automatisierte Steuerung von Baufahrzeugen funktionieren wird. Weithin sehr praktikabel und nützlich wird beispielsweise die automatisierte Verfolgung und Dokumentation der Erdbewegungen einer Baustelle im BIM-Modell sein: Im digitalen Zwilling des Gelände-modells wird zukünftig Herkunft, Transportweg und Einbauort eines jeden Kubikmeters bewegten Erdstoffs visualisiert und nachvollziehbar dokumentiert sein.

Neben der Vernetzung von Baumaschinen auf der Baustelle werden viele Potenziale in der (teil-)automatisierten Ausführung von Bauleistungen durch robotergestützte Geräte gesehen. Die Robotik verspricht dabei, zumindest Teile der von Arbeitskräften ausgeführten Tätigkeiten maschinell auszuführen. Erste nennenswerte Ergebnisse liefern beispielsweise mobile Roboter, die eigenständig Bohrlöcher und Verankerungspunkte in Stahlbetonwände/-decken herstellen, selbständig fahrende Raupendumper für den Materialtransport auf der Baustelle oder sogenannte Mensch-Roboter-Kollaborationen.

## Logistik als digitaler Supportprozess beim Bauen 4.0?

Abschließend sei noch auf die Materiallogistik eingegangen, da sich auch hier eine Vielzahl an Potenzialen der (teil-)automatisierten Herstellung ergeben. Als Beispiel sei die individualisierte Materiallieferung genannt. Während beispielsweise heute der Fliesenleger mühsam die Fliesen individuell auf der Baustelle zuschneidet, wird morgen, automatisiert abgeleitet aus dem BIM-Modell und einem 3D-Laserscan, der Fliesenleger je Raum alle Fliesen passgenau und maschinell maßgeschneitert geliefert bekommen. Er hat somit nur noch die eigene Verlegeleistung auszuführen. Gleiches ist für viele andere Gewerke denkbar: Fassadendämmung, Dachdeckerarbeiten, Teppichverlegung, Montage von Kabeltrassen und Rohrleitungssystemen der TGA usw. Am Rande bemerkt: Mit einem ähnlichen Geschäftsmodell, jedoch in der Lebensmittelbranche, hat sich das deutsche Unternehmen HelloFresh innerhalb von weniger als 10 Jahren zu einem internationalen Konzern mit einem Jahresumsatz von 1,8 Mrd. Euro (2019) entwickelt.

# Bauen 4.0

## Bauen 4.0: Zukunft oder Utopie?

Man darf also äußerst gespannt in die Zukunft der Bauindustrie blicken. Für eine digitale Zukunft mit vernetzten Baumaschinen, digitalen Zwillingen, drohnengestützten Objektüberwachungen, bauspezifischen Fahrerassistenzsystemen für Baumaschinen und intelligenten Fertigungsverfahren scheinen sowohl Forschung und Entwicklung als auch die Bauindustrie, vielversprechende Visionen zu haben. Eine vollautomatisierte Baustelle, mit ausschließlich robotergestützten Prozessen bewegt sich erst einmal weiter im Bereich der Utopie, einer modernen und effizienten Umsetzung digitaler Prozesse auf der Baustelle, gepaart mit neuen Ideen steht jedoch nichts im Weg. Es ist sicherlich falsch, nur bewährte Prozesse der Vergangenheit zu „digitalisieren“ – vielmehr sollten neue Ideen zur Realisierung, gepaart mit neuen technologischen Innovationen, Grundlage zukünftiger Entwicklungen sein.

Das Institut für Baubetriebswesen der TU Dresden begleitet diesen Prozess aktiv und treibt die Umsetzung digitaler Lösungen anhand ausgewählter Forschungsideen weiter an. Eine zeitnahe Umsetzung und Weiterentwicklung geeigneter Forschungsansätze ist natürlich auf die breite Unterstützung der Bauindustrie angewiesen, so dass die Zusammenarbeit an den Zukunftsvisionen vom Bauen 4.0 von großer Bedeutung ist.

