

# **Digitalisierung und Nachhaltigkeit in der Baustoffindustrie**

Manfred Grundke

Manfred Grundke

## **Digitalisierung und Nachhaltigkeit in der Baustoffindustrie**

Copyright by TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, 2019

1. Auflage 2019

### **Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie:

Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

**Grundke, Manfred:**  
**Digitalisierung und Nachhaltigkeit in der Baustoffindustrie**

1. Auflage

München: TCW Transfer-Centrum, 2019

ISBN: 978-3-947730-10-0

Verlag:

TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, München

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung in fremde Sprachen, sind dem Verlag vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form, auch nicht zum Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet werden.

## VORWORT

Die Baubranche ist eine wichtige Industrie in Deutschland. Das Bauvolumen stieg von 2010 bis 2018 um über 40 Prozent von 283 Milliarden Euro auf 400 Milliarden Euro. Ein weiterer Anstieg des Bauvolumens ist sowohl auf Seiten der öffentlichen Hand als auch im privaten Wohnungsbau wegen fehlenden Wohnraums in den Ballungszentren notwendig. Da die Kapazitätsgrenze, insbesondere mangels Arbeitskräfte auf den Baustellen, bereits heute erreicht ist, kann das erforderliche Wachstum ohne eine Produktivitätssteigerung in der Baubranche nicht bedient werden.

Die Modularisierung und die Digitalisierung der Baustelle sind Konzepte für neues Produktivitätspotenzial. Die aufgezeigten Konzepte zur Produktivitätssteigerung durch Digitalisierung sind unter anderem Building Information Modeling (BIM), die digitale Baustelle, Robotereinsatz und modulares Bauen. Additive Manufacturing für die Baubranche kann als weitere Lösung für Effizienzprobleme herangezogen werden. Der 3D-Druck erobert nun Schritt für Schritt auch das Bauwesen. Die Bauindustrie ist von hochindividueller Einzelfertigung geprägt: Häuser und Wohnungen werden immer noch überwiegend in Losgröße 1 gebaut. Somit passen additive Fertigung und das Bauwesen gut zusammen.

Auf Seiten der Nachhaltigkeit geht es vor allem darum, wie Industrieunternehmen langfristig die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich senken können, etwa beim Energie- und Wärmesystem sowie im Produktionsprozess durch die Nutzung von Abwärme. Die Umweltaspekte werden auch mit Recyclingkonzepten und einem umweltschonenden Abbau von Rohstoffen adressiert. Doch der Begriff der Nachhaltigkeit impliziert nicht nur Umweltaspekte. Zu den Handlungsfeldern gehören auch der soziale Wohnungsbau und die Wirtschaftlichkeit von Bauprojekten. Modulare Häuser, d. h. individuelle Wohneinheiten gebaut mit standardisierten Elementen

(Modulen), können eine preiswerte Alternative zum konventionellen Bauen darstellen und dazu genutzt werden, den sozialen Wohnungsbau voranzutreiben. Die Module werden in der Fabrik nach industriellen Maßstäben vorgefertigt und auf der Baustelle montiert. Das steigert die Qualität und senkt gleichzeitig die Kosten und den Zeitbedarf auf den Baustellen (besser bei der Endmontage).

Neben dem Handlungsfeld modulares industrielles Bauen hat die Digitalisierung und Nachhaltigkeit bei der Herstellung von gipsbasierten Baustoffen wie auch beim Bauen selbst einen breiten Raum in meinen Vorlesungen und Diskussionen mit den Studierenden an der TU München eingenommen. Diese Themen werden in den aufgeführten Aufsätzen diskutiert und in diesem Buch zusammengefasst.

München, im März 2019,

Manfred Grundke

## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1. Die Produktivitätslücke der Baubranche schließen: Modularisierung und Digitalisierung .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Sozialer Wohnraumbau – industriell und trotzdem individuell?.....</b>	<b>19</b>
<b>3. Digitalisierung in der Bauwirtschaft.....</b>	<b>27</b>
<b>4. Mit Robotern die Arbeit auf der Baustelle automatisieren .....</b>	<b>40</b>
<b>5. 3D-Druck in der Bauindustrie .....</b>	<b>52</b>
<b>6. Datensicherheit in der Baustoffproduktion .....</b>	<b>64</b>
<b>7. Strategie zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei energieintensiven Produktionsprozessen.....</b>	<b>80</b>
<b>8. Chancen und Herausforderungen der Energiewende für ein mittelständischen Unternehmen .....</b>	<b>87</b>
<b>9. Recycling am Beispiel der Gipsindustrie .....</b>	<b>97</b>
<b>10. Wie der Gipsabbau in Deutschland umweltschonend gestaltet werden kann .....</b>	<b>111</b>
<b>11. Ressourceneffizienz durch Digitalisierung in der Baustoffindustrie .....</b>	<b>123</b>
<b>12. Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>137</b>
<b>13. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>138</b>
<b>14. Stichwortverzeichnis.....</b>	<b>153</b>
<b>Der Autor .....</b>	<b>158</b>

## **1. Die Produktivitätslücke der Baubranche schließen: Modularisierung und Digitalisierung**

**Die Baubranche hat ihre Produktivität in den letzten zwei Jahrzehnten nur geringfügig steigern können. Durch den starken Anstieg des Bauvolumens ist sie nun an ihrer Kapazitätsgrenze angekommen. Wie lässt sich durch eine Erhöhung der Produktivität ein weiteres Wachstum der Branche ermöglichen? Die Modularisierung und Digitalisierung der Baustelle sind Konzepte für neues Produktivitätspotenzial.**

### **Produktivitätseinbußen in der Baubranche**

Das Bauvolumen ist in Deutschland von 2010 bis 2018 um über 40 Prozent von 283 Mrd. Euro auf 400 Mrd. Euro gestiegen. Ein weiterer Anstieg des Bauvolumens ist sowohl auf Seiten der öffentlichen Hand als auch im privaten Wohnungsbau zu erwarten. Dies liegt am derzeitigen Wohnungsdefizit sowie am zusätzlichen Ausbaubedarf in den Ballungsräumen. Pläne zum weiteren Ausbau stoßen jedoch auf die Kapazitätsgrenze in der Bauindustrie. Denn die vermehrten Investitionen spiegeln sich nicht in der Entwicklung der Beschäftigtenzahlen wider: Trotz des hohen Anstiegs der Investitionen und einer annähernden Verdopplung der nach Deutschland entsandten Arbeitnehmer im selben Zeitraum stieg die Zahl der Beschäftigten im Bauhauptgewerbe von 2010 bis 2017 nur um 13 Prozent. Ein Anstieg der Produktivität, welche den Mangel an Arbeitskräften kompensieren könnte, ist jedoch nicht zu erkennen. Vielmehr befindet sich die Baubranche seit Jahren in einer Produktivitätskrise. Studien belegen, dass sich die operative Produktivität, das heißt die Bruttowertschöpfung je Arbeitsstunde, zwischen 1995 und 2015 nur um durchschnittlich 0,3 Prozent pro Jahr steigerte. Die Produktivität der gesamten Volkswirtschaft stieg im selben Zeitraum

durchschnittlich um 1,3 Prozent pro Jahr, und die des verarbeitenden Gewerbes um über 2,2 Prozent pro Jahr.

Die geringe Produktivität in der Baubranche hat zahlreiche Gründe. Generell werden die Bauprojekte zunehmend komplexer. Zusätzlich ist die Branche mit starker Regulierung und einer Abhängigkeit von der Nachfrage der öffentlichen Hand konfrontiert. Die Baubranche ist eine sehr fragmentierte Industrie. Sie tickt daher anders als andere Industrien, weshalb die Produktivität nicht durch den Wettbewerbsdruck am freien Markt ansteigt. Denn die Nachfrage ist derzeit so hoch, dass selbst ineffiziente Anbieter kaum Aufträge an produktivere Konkurrenten verlieren. Besitzer und Käufer sind zudem oft unerfahren und müssen sich in einem teils undurchsichtigen Markt zurechtfinden. Die Bauentwürfe werden auf den Kunden zugeschnitten und mit geringer Standardisierung erstellt. Somit ist es schwer, Skaleneffekte zu erzielen, welche bei einer Herstellung größerer Volumen eine Kosteneinsparung ermöglichen würden. Weiterhin ist die Ausbildung und Kompetenz des Personals auf der Baustelle oft zu gering, um die Aufgaben im vorgegebenen Zeit- und Kostenrahmen zu erfüllen. Im Ergebnis sind die Margen in der Baubranche im Vergleich zu anderen Industrien im unteren Bereich. Dies verhindert bislang die dringend notwendigen Investitionen in Innovationen, welche eine steigende Produktivität ermöglichen würden. Wie lässt sich nun in Zukunft die Situation verbessern? Schließlich gilt es, das steigende Volumen an Bauvorhaben mit den vorhandenen Arbeitskräften durchführen zu können. Hierzu existieren bereits erprobte und erfolgreiche Ansätze, welche die Produktivität nachweislich steigern. Am wirkungsvollsten sind die Maßnahmen in den Bereichen Standardisierung und Modularisierung, Baustellenorganisation einschließlich digitaler Baustelle. Modulare Bauten ermöglichen eine

Massenfertigung, welche nicht nur die Produktivität steigert, sondern auch die dringend benötigte Transparenz am Markt erzeugt.

### **Modulares Bauen**

Mit modularen Häusern soll die Wertschöpfung von der Baustelle in die Fabrik verlagert werden. Zentrale industrielle Fertigungsanlagen ermöglichen Kosteneinsparungen bis zu 70 Prozent und beschleunigen zudem die Bauzeit und erhöhen die Qualität. Vorbild ist die Automobilindustrie, welche dieses Konzept bereits seit Jahren verwendet. Bisherige Fertighäuser weisen eine industrielle Vorfertigung von 30 Prozent auf und ermöglichen bereits eine Kostensenkung von 30 Prozent im Vergleich zum Massivhaus. Für weitere Kostenvorteile sind jedoch mindestens 70 Prozent Vorfertigung erforderlich, welche ein Modulbau ermöglicht. Er basiert auf dem Konzept, dass Häuser in einzelne, standardisierte Module zerlegt werden, welche sich zu individuellen Häusern kombinieren lassen. Auf diese Weise lassen sich nicht mehr nur standardisierte und einheitlich erscheinende Siedlungsbauten, sondern auch individuelle und ansehnliche Wohnanlagen, Doppelhäuser und sogar luxuriöse Einzelvillen erzeugen, welche auf industriell vorgefertigten Modulen basieren. Die Vorteile der industriellen Vorfertigung ergeben sich aus der erheblich steigenden Wiederholungsqualität, die durch standardisierte Verfahren und Abläufe sowohl im Produktionsprozess als auch auf der Baustelle zu realisieren sind. Diese einheitlichen Standards sind es, welche reduzierte Planungs- und Bauzeiten ermöglichen und somit Kostenvorteile mit sich bringen. Entscheidend ist der Grad der modularen und industriellen Vorfertigung, welcher je nach Typ des Bauvorhabens stark variiert. Im Extremfall des modularen Raummodulbaus wird von der gesamten Wertschöpfung über 80 Prozent bereits vorgefertigt und damit der auf der Baustelle



anfallende Montageaufwand sowie die Bauzeit auf ein Minimum reduziert. Die Auftragsbearbeitungsdauer eines Hauses wird von der Auftragserteilung bis zur Schlüsselübergabe auf wenige Wochen reduziert. Dies wird durch das modulare Produkt und die Wiederverwendung von bestehenden Planungsleistungen und den Einsatz schlanker Produktionsprinzipien erreicht. Durch die Produktionsprinzipien am Beispiel der Automobilindustrie werden konsequent Verschwendungen beim Hausbau identifiziert und eliminiert. So lassen sich Durchlaufzeit und Kosten senken. Einsparpotenziale ergeben sich dabei auch bei den Materialien. Durch den Einsatz bereits vorgeschchnittener und vorkonfektionierter Komponenten kann der Verschnitt und der Abfall deutlich reduziert werden. Durch den industriellen Prozess lässt sich darüber hinaus eine um bis zum Faktor 10 genauere Fertigung realisieren. Auf der Baustelle lässt sich eine Genauigkeit im cm-Bereich realisieren, in der Fabrik lässt sich hingegen eine Genauigkeit im mm- und  $\mu\text{m}$ -Bereich erreichen. Dies führt zu einer hohen Wiederholgenauigkeit und Qualität der Prozesse. Dies ist insbesondere bei der Verarbeitung von Spachtelmasse, Kleber und Farbe relevant. Die zentrale Steuerung der einzelnen Gewerke gewährleistet darüber hinaus, dass keine Verzögerungen im Produktionsablauf entstehen und vorgegebene Durchlaufzeiten eingehalten werden. Durch den Einsatz eines kontinuierlichen Qualitätsmanagements, welches das Bauvorhaben begleitet, wird die Qualität in der Produktion und auf der Baustelle sichergestellt. Trotz der definierten Produktionsprozesse kann der Kunde flexibel sein Produkt bis zum „design freeze“ ändern, ohne dass sich dadurch Mehraufwand in der Produktion und damit Mehrkosten für den Kunden ergeben. Darüber hinaus ist der Kunde in der Lage, durch den modularen Produktaufbau sein Haus im Nachhinein gezielt zu erweitern und anzupassen.

Die Fertigung der Häuser erfolgt nach den Prinzipien der getakteten Fließfertigung in der Fabrik. Die industrielle Produktion wird unterteilt in die Fertigung der Wand-, Boden- und Deckenelemente sowie die Montage der Module. Die Wandelemente bestehen aus Stahlleichtbauprofilen, die gemeinsam mit den Gipsfaserplatten ein tragendes Wand-, Decken- oder Bodenelement ergeben. Je nach Anforderung des Elements ist dies entsprechend isoliert, beplankt und verputzt. In der industriellen Fließfertigung werden die Stahl-Leichtbau-Profile zu Rahmen geclincht und zunächst auf einer Seite mit vorkonfektionierten Gipsfaserplatten geschlossen. Anschließend wird das Isoliermaterial als Innenleben vollautomatisch eingeblasen und Leerrohre für Kabel sowie Zu- und Abwasser eingebracht. Danach wird das Element mit einer zweiten Schicht an Gipskartonplatten geschlossen. Je nach Typ des Elements werden etwa bei Fassadenelementen bereits Fenster eingebaut und Putz sowie der erste Anstrich aufgetragen. Alle Fertigungsschritte erfolgen dabei in einem kontinuierlichen Fluss. Die Hauptlinie ist getaktet, sodass Prozesse, die eine längere Bearbeitungszeit in Anspruch nehmen, in Vorarbeitsplätze parallelisiert werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Elemente unter Berücksichtigung eines hohen Automatisierungsgrades sowie des Einsatzes von Just-in-Time zu fertigen. Am Fallbeispiel der Firma Knauf hat die kostenoptimale Elementfertigung im Dreischichtbetrieb ein jährliches Produktionsvolumen von 225.000 qm Wohnfläche. Dies entspricht etwa 1.500 Einfamilienhäusern. In der Elementfertigung arbeiten pro Schicht 30 Mitarbeiter in der Produktion. Diese Kapazität erfordert ein Investitionsvolumen für Anlagen und Struktur von € 13 Millionen

In der Modulmontage werden die einzelnen Elemente zu Raummodulen montiert. Auf der Bodenplatte werden die Wandelemente in einem fließenden Prozess aufgestellt und die

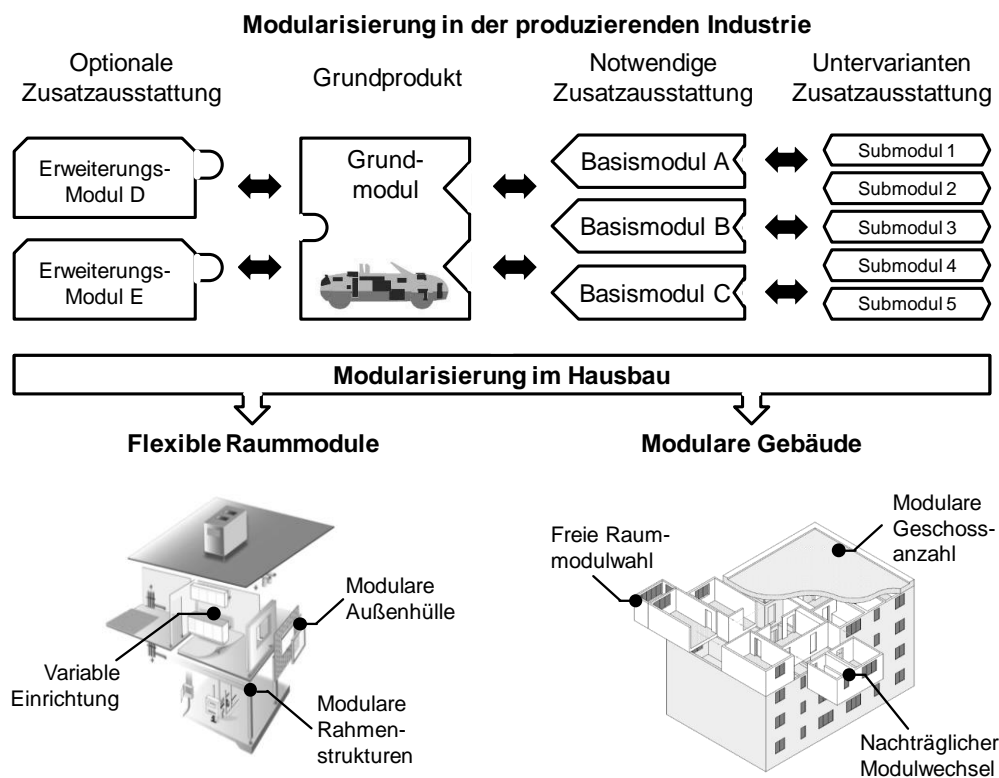
technischen Verbindungen für die Strom-, Gas- und Wasserkreisläufe geschlossen. Bei Küchen- oder Badezimmermodulen werden vorgefertigte Bausätze, die parallel gefertigt oder von einem Zulieferer angeliefert werden, in den Modulen installiert. Anschließend wird das Modul mit dem Deckenelement geschlossen und die Finalisierung des Innenraums vorgenommen. Dabei werden die Bodenbeläge und die Innenwände eingesetzt und finalisiert. Just-in-Time und Just-in-Sequence-Zulieferer haben in der Modulmontage separate Lagerflächen als Pufferzone, um die Bestellungen eines definierten Zeitraums vorzuhalten und zum richtigen Zeitpunkt an die Linie liefern zu können. In der Modulmontage kann so ein Vorfertigungsgrad von über 80 Prozent realisiert werden. Für den Transport auf die Baustelle und zum Schutz vor externen Witterungseinflüssen bei der Zwischenlagerung wird das Modul mit einer Schrumpffolie verpackt. Am Fallbeispiel der Firma Knauf sind für die Modulmontage von 225.000 qm, was 12.500 Modulen entspricht, eine Investition von € 7 Millionen erforderlich. Für den Betrieb der Modulmontage werden 20 Mitarbeiter in Montage und Intralogistik benötigt.

Die Module werden soweit wie möglich vormontiert und dann auf die Baustelle geliefert. Dort erfolgt die Endmontage. Baustelle und Produktion sollten dabei maximal rund 400 Kilometer auseinanderliegen. Bei größeren Entfernungen wird es unrentabel. Der limitierende Faktor für die Größe der Module ist der Transport, insbesondere die Breite der Straßen und Höhe der Brücken. Eine Idee, die verfolgt wird, um die Reichweite zu erhöhen, ist der Einsatz einer mobilen Zeltfabrik in der Neubausiedlung, die dann rundherum die verschiedenen Baustellen mit Modulen versorgt. Der Grundgedanke der Modularisierung im Hausbau sieht vor, soviel wie möglich vorzubereiten und Prozesse zu standardisieren. Dabei kommt auch der

Gedanke der Integration der verschiedenen Gewerke im Wertschöpfungsprozess ins Spiel. Denn somit ergeben sich weitere Vorteile wie etwa geringerer Planungs- und Konstruktionsaufwand sowie Skaleneffekte im Einkauf.

Die Modulbauweise in dieser Form bietet sich für Ballungsgebiete an, wenn Baulücken durch Nachverdichtung geschlossen werden. Als Vorreiter dafür sei hier Zürich zu nennen, wo Wohnraum sehr knapp ist und daher schon länger mit der modularen Leichtbauweise experimentiert wird. Und noch weitere Vorteile ergeben sich durch die Modulbauweise: Denn auch an das altersgerechte Bauen wurde gedacht. Da die Schnittstellen der Module definiert sind, lassen sich Module entsprechend verändern, wenn etwa die Kinder ausziehen und Eltern dann Zimmer zusammenlegen wollen, siehe Abbildung 1.

Durch die Analyse aller notwendigen Wertschöpfungsschritte im Bauprozess, von der Fertigung der Einzelteile über die Fertigung der



**Abbildung 1: Modulkonzept in der Bauindustrie**

Module bis zum Transport sowie der Montage auf der Baustelle, konnten die Kosten der Produktion sowie der Individualisierung in den Griff bekommen und in das neue Modulbaukonzept überführt werden. Es geht aber nicht nur darum, dass mittlerweile etablierte Baukastenprinzip der Automobilproduktion auf den Hausbau zu übertragen, sondern auch um eine mitlaufende Qualitätssicherung, damit nicht erst am Ende auf der Baustelle nachgebessert wird, wenn etwas nicht stimmt. In der Automobilindustrie werden die Modelle einmal vom TÜV abgenommen, dann werden alle nachfolgenden Pkws des gleichen Modells reproduziert. Das wäre auch für die Bauabnahme ein riesiger Vorteil. Ähnlich wie etwa heutzutage Kabel in Autos in einem einzigen BUS-System verbaut werden, könnte dieses Prinzip auf die Haustechnik übertragen werden, etwa für das Infotainment, die Energiesteuerung und Sicherheitssysteme.

In den USA ist der industrielle Hausbau längst einen Schritt weiter als bei uns. Dort können Kunden von Blu Homes seit Jahren ihr Traumhaus mithilfe einer App auswählen. Diese diente als Vorbild für einen Konfigurator mittels Software. Ähnlich wie Kunden ihr neues Auto nach ihren individuellen Vorlieben konfigurieren können, wird ihr neues Haus gemäß ihren Budgets individuell zusammengestellt. Dazu ist im Konfigurator die Größe des Grundstücks einzugeben. Es können dann einzelne Module ausgewählt werden, wie etwa die Küche oder das Bad. Es gibt eine Vielzahl an Außenfassaden und Dachformen. Hier sind hinsichtlich der Ausstattung keine Grenzen gesetzt, solange es das Budget hergibt. Außerdem bietet er zusätzliche Elemente an, etwa wenn eine Fußbodenheizung für Teilbereiche angeklickt wird, fragt er ab, ob diese nicht auf den gesamten Wohnraum ausgebaut werden soll. So wird Schritt für Schritt das Haus zusammengesetzt und dabei werden die jeweiligen Einzel- und letztendlich die Gesamtkosten angezeigt. Kunden haben somit stets

den Überblick, ob sie sich das Haus in dieser Form leisten wollen beziehungsweise können. Hat sich der Kunde entschieden, beginnt nicht gleich der Hausbau, sondern es folgt eine Feinabstimmung. Bevor der Bauauftrag am Ende mit einem Mausklick am PC freigegeben wird, erfolgt die Prüfung der Plausibilität, denn nicht jeder Konfigurationswunsch ist auch umsetzbar. Am Ende des Planungsprozesses erhalten die Kunden eine Übersicht über das Projekt, den Kaufvertrag und den Bebauungsplan, welche sie sich ausdrucken oder abspeichern können. Aufbauend auf dem Planungsprozess können nach dem Konfigurationsprozess des Hauses zusätzliche Serviceleistungen rund um die Instandhaltung angeboten werden. Das können zum Beispiel Garten- oder Reinigungsarbeiten sein. Der Konfigurator soll nicht nur dazu dienen, eine Kundenschnittstelle zum Vertrieb anzubieten, sondern einen Schritt weitergehen und BIM (Building Information Modeling) für die Produktion der einzelnen Elemente nutzen. So lässt sich die Produktion steuern. Die Durchlaufzeit in der Produktion für ein 100 qm großes Haus soll rund einen Tag betragen. Machbar wäre es, das Haus in einer Woche schlüsselfertig aufzustellen, wenn die Elemente fertig und zu einem Modul zusammengefasst sind. Vorstellbar sind nicht nur Ein- und Zweifamilienhäuser, sondern auch vierstöckige Gebäude mit bis zu 500 qm Grundfläche pro Stockwerk.

### **Baustellenorganisation**

Die vorgefertigten Module werden auf der Baustelle montiert. Mit speziellen vorkommissionierten Baustellencontainern lassen sich Bereitstell- und Handlingzeiten der benötigten Hilfsmaterialien reduzieren. Neben den Materialcontainern werden noch weitere Container für die Strom- und Druckluftherzeugung sowie den Leitstand für den Projektkoordinator aufgestellt, um eine effiziente Arbeit auf

der Baustelle zu gewährleisten. Durch den hohen Standardisierungsgrad der Module können hausspezifische Arbeitsanweisungen mit detaillierten Prozessbeschreibungen und geplanten Montagezeiten auf der Baustelle ausgegeben werden. Die Steuerung auf der Baustelle erfolgt über den Projektkoordinator, der Aufgaben an die jeweiligen Gewerke wie etwa Klempner, Elektriker, Bodenleger und Sanitärtechniker, soweit noch erforderlich, verteilt. Neben dem Projektkoordinator sind zu jedem Zeitpunkt vier Mitarbeiter der unterschiedlichen Gewerke auf der Baustelle. Die Gewerke müssen so koordiniert werden, dass ein reibungsloser Ablauf ohne Leerzeiten ermöglicht wird. Bevor der Bau des Hauses erfolgt, werden die entsprechenden Vorarbeiten wie das Fundament sowie die Grundstücksvorbereitungen finalisiert. Um den störungsfreien Ablauf aller Arbeitsschritte zu gewährleisten, ist eine sequenzgenaue Anlieferung des Baustellenmaterials wichtig, sodass die Zwischenlagerung der Module auf der Baustelle entfällt. Für die Hebevorrückung der Module auf der Baustelle kommt ein Greifarm zum Einsatz, der die Prozesszeit wesentlich verkürzt. Die Erfassung und Zuteilung der Module auf der Baustelle erfolgt über RFID-Systeme, wodurch sich die Montagearbeiten der Module bei einem Einfamilienhaus auf einen Tag reduzieren lassen und das 24-Stunden-Haus zur Realität wird. Bei einer Core-&-Shell-Bauweise (ohne Innenausbau, aber inklusive Rohmontage von Zu- und Abwasser, Elektrizität, Heizung und Lüftung) werden die restlichen Arbeitsschritte innerhalb von drei bis vier Tagen abgeschlossen. Dazu zählen die Maler- und Verputzarbeiten der Außenfassade, die finalen Bodenbeläge und Anstriche der Wände sowie die Finalisierung der Inneneinrichtung.

Die Koordination der Tätigkeiten auf der Baustelle kann der Modulhersteller übernehmen. Die Spezifikation des Auftrags

ermöglicht es, die Baustelleneinrichtung für die Montage der Module einschließlich der Infrastruktur mit Kränen, Material- und Werkzeugcontainern, Werkzeugen und Personal zu planen. So ist es möglich, die notwendigen Materialien und Werkzeuge bereits vor den Modulen auf die Baustelle zu bringen. In der Bauphase lassen sich damit die Such- und Fehlzeiten reduzieren. Die vorkommissionierten Baustellencontainer beschleunigen den Warenfluss auf der Baustelle und senken die Verschwendung.

Bereits unmittelbar nach der Konfiguration des Wohnhauses durch den Kunden ist weitgehend klar, welche Aufgaben auf der Baustelle anfallen und welche Dienstleister beauftragt werden müssen. Die Baustelle wird mit einem Zelt überdacht. So lassen sich die Witterungseinflüsse gering halten. Am Beispiel eines Einfamilienhauses mit einer Grundfläche von 145 qm sind vier Modulmonteure für den Gesamtaufbau zuständig. Dachdecker versiegeln die Dachflächen, Spengler montieren Dachrinnen und Wasserabläufe, Maler verputzen und streichen die Außenfassaden. Daneben sind Elektriker für die Hauselektrik zuständig sowie Heizungs- und Sanitärinstallateure für den Einbau der Heizungs- und Sanitärtechnik. Kranführer und Transporteure gewährleisten die Materialversorgung auf der Baustelle. Die Gewerke werden von dem Projektkoordinator so koordiniert, dass ein reibungsloser Ablauf ohne Leerzeiten ermöglicht wird. Die modulare Baustellenorganisation ermöglicht Kostenvorteile von über 70 Prozent. Dies liegt vor allem an der starken Reduzierung von Verschwendung. Robuste Prozessabläufe, vordefinierte Schnittstellen und intelligente logistische Konzepte führen zu einer Reduzierung von Verschwendung um bis zu 90 Prozent. Durch den hohen Vorfertigungsgrad der Module in der Fabrik sind die Prozessabläufe auf der Baustelle um 50 Prozent zeiteffizienter.



## **Digitale Baustelle**

Die digitale Baustelle steht für hochwertige 3D-Planungsdaten und ermöglicht es, den Bauablauf nicht nur zu planen, sondern auch zu testen. Ferner lässt sich später das tatsächliche Baugeschehen überwachen. Mittlerweile sind leistungsfähige 3D-CAD-Systeme speziell für die Baubranche verfügbar. Die weitgehende Verbreitung wird noch dadurch behindert, dass 2D-Pläne zwischen den beteiligten Parteien ausgetauscht werden müssen. Dies liegt zum einen an der nötigen Rechtsverbindlichkeit, die mit papierbasierten Dokumenten einfacher herzustellen ist als mit digitalen Modellen. Zum anderen benötigen die Arbeitskräfte auf der Baustelle einen robusten und faltbaren Plan für die Ausführung. Eine praxistaugliche Lösung muss daher normgerechte Pläne auf Basis des 3D-Modells erstellen können. Auch für die Erstellung des Baustellenlayouts im modularen Hausbau lässt sich ein 3D-Planungstool verwenden. Die Ablaufsimulation ermöglicht eine aufwandsarme Analyse des geplanten Baustellenlayouts. Für die virtuelle Darstellung des Baustellenlayouts ist der Projekt- und Bauplan zu berücksichtigen, da das Layout gemäß der Montagereihenfolge der Module erstellt und angepasst werden sollte. Mit Hilfe des 3D-Modells kann unter Berücksichtigung der Zeit als vierter Dimension der Montageablauf geplant und abgebildet werden. Mit diesem Vorgehen wird gewährleistet, dass bereits vor der Montage der Module Fehlerquellen ausgeschlossen und somit eine hohe Qualität realisiert werden können. Die Ablaufsimulation ermöglicht damit eine schnellere Ausführung der Bautätigkeiten und reduziert die Nacharbeit erheblich. Die Prozessabläufe erfolgen damit um weitere 10 Prozent zeiteffizienter.

Am Fallbeispiel eines Projekts für ein Mehrfamilienhaus wurde für die Simulation des Bauablaufs das digitale Modell eingesetzt, um die

Kalkulation und Termine im zeitlichen Verlauf darzustellen und im 3D-Modell zu visualisieren. Neben der zeitlichen Abfolge können auch Kosten, Budgets und Ressourcen im zeitlichen Verlauf dargestellt werden. Auf der Baustelle wurde das digitale Modell genutzt, um den Fertigstellungsgrad und die Leistungsmeldung zu ermitteln. Das Bau-Soll ließ sich darstellen und für Baubesprechungen mit Nachunternehmern und Bauherren nutzen. Bei einem Projekt, welches zu Baubeginn in Verzug geraten war, konnte durch geändertes Vorgehen und Ablaufoptimierung der geplante Endtermin auf den Tag genau eingehalten werden.

### **Ausblick**

Der konventionelle Planungsprozess wird in den kommenden Jahren durch einen 3D-Modellierungsprozess abgelöst werden. Die Bearbeitung des Projekts mit 3D-Modellen wird auch in der Bauphase zum Standard. Daher ist künftig besonderer Wert auf die Schnittstelle zwischen realer und digitaler Welt zu legen. Hierzu etwa der Import von 3D-Modellinformationen in Vermessungsgeräte auf der Baustelle. So lassen sich Modell und Realität vergleichen. Weiterhin können Augmented Reality-Anwendungen die Arbeiten auf der Baustelle unterstützen. Hierbei werden Informationen in das Sichtfeld projiziert und damit etwa Heizschächte und Wasserleitungen sichtbar. Deren Perspektive passt sich an, sobald sich der Nutzer bewegt. Die Gebäudeinformationen lassen sich nutzen, um die Raumverhältnisse besser zu sehen und etwa Konflikte in der Gebäudetechnik früher zu erkennen. Damit sinkt das Fehlerpotenzial, die Qualität steigt und Bauwerke können schneller fertiggestellt werden.

## **2. Sozialer Wohnraumbau – industriell und trotzdem individuell?**

Zwischen 200.000 bis 500.000 neue Wohneinheiten pro Jahr – so unterschiedlich die Bedarfsprognosen für Deutschland auch sein mögen, eines ist klar: Die öffentliche Hand ist nicht nur wegen des Zuzugs von Flüchtlingen derzeit ganz besonders darin gefordert, schnell günstigen und menschenfreundlichen Wohnraum zu schaffen. Die Zuständigkeit für die Soziale Wohnraumförderung wurde im Zuge der Föderalismusreform I mit Wirkung vom 1. September 2006 vollständig vom Bund auf die Länder übertragen. Der Bund gewährt den Ländern seit 2007 bis einschließlich 2019 Kompensationszahlungen die sich inzwischen auf nunmehr 1.518 Millionen Euro pro Jahr belaufen. Gleichzeitig sind die Auftragsbücher von Bauunternehmen wegen der guten Konjunktur in der Wirtschaft voll. Das treibt die Preise in die Höhe und bringt Gemeinden in finanzielle Schwierigkeiten. Eine Entspannung der Situation ist unwahrscheinlich. Der Bauboom kann kaum noch bewältigt werden. Hinzu kommt das drängendste Problem der Branche - der Fachkräftemangel, vor dem vor allem das Handwerk nicht gefeit ist. Bauen bleibt also weiterhin eher langwierig und häufig auch wegen zahlreicher Qualitätsmängel und Abstimmungsprobleme im Bauprozess teuer. Das ist schlecht für alle Bürger, insbesondere mit Bedarf an bezahlbarem Wohnraum, wie auch für den Staat. Doch wo kann man anpacken? Liegt das teure Bauen tatsächlich nur an den hohen Grundstückspreisen in begehrten Ballungsräumen und an den hohen Löhnen sowie Materialkosten? Ist vielleicht ein Ruck in der Bauwirtschaft notwendig, in der noch nach Prinzipien gearbeitet wird, die in anderen Industrien schon lange nicht mehr angewendet werden?