

Schöne neue Bauwelt?¹

Versprechen, Visionen und Wege des digitalen Planens und Bauens

Kathrin Braun und Cordula Kropp

Damit das Bauwesen den Herausforderungen der Zukunft gerecht wird und nachhaltige, nutzergerechte und bezahlbare Gebäude in ausreichender Menge zur Verfügung stellt, muss sich vieles ändern. Denn die Bauindustrie befindet sich einer Mehrfachkrise: einer Produktivitäts-, Qualifikations- und Rentabilitätskrise, aber auch einer Ressourcen-, Nachhaltigkeits- und Vertrauenskrise, um nur einige zu nennen. In dieser Situation versprechen digitale Technologien neuartige Möglichkeiten und Wege für ein zukunftsfähigeres Bauschaffen. Die digitale Transformation, die auch in Deutschland zunehmend an Fahrt gewinnt, stellt die Branche vor große Herausforderungen, bietet jedoch auch enorme Potenziale, deren Erschließung die Bauwirtschaft in die Lage versetzen kann, ihre Krisen zu bewältigen und darüber hinaus einen Beitrag zur Lösung drängender Menschheitsprobleme zu leisten. So jedenfalls die Erwartung zahlreicher Akteur*innen in Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft.

Allerdings wird die digitale Durchdringung des Bauwesens durchaus ambivalent bewertet und löst sowohl Hoffnungen als auch Befürchtungen aus. Aus Sicht der Bauschaffenden besteht also Grund genug, sich mit den Potenzialen und Voraussetzungen sowie den voraussichtlichen Implikationen für die Zukunft der Betriebe der Branche, der Professionen oder auch der individuellen Lebens- und Arbeitsperspektiven auseinanderzusetzen. Über die Baubranche hinaus geht es um gesellschaftliche Herausforderungen von weitreichender Relevanz, die nach gesellschaftlicher Reflexion und demokratischer Gestaltung verlangen.

1 Die Forschung für diesen Beitrag wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC 2120/1 – 390831618. Die empirischen Daten für diesen Beitrag wurden im Rahmen des Projekts »Co-design from architectural, historical and societal perspectives« im Exzellenzcluster *Integrated Computational Design and Construction for Architecture* (IntCDC) von Yana Boeva, Kathrin Braun und Cordula Kropp erhoben. Ein Großteil der Interviews wurde von Yana Boeva durchgeführt.

Der Bausektor ist mit ca. 6 Prozent der globalen Bruttowertschöpfung einer der größten Einzelsektoren der Weltwirtschaft (BBSR 2019: 11). In Deutschland zählte die Baubranche im Jahr 2018 2,5 Mio. Erwerbstätige, trug mit 5,3 Prozent zur Bruttowertschöpfung bei und ist damit der sechstgrößte Wirtschaftszweig (BMAS 2019: 5; 12). Über die wirtschaftlichen Kennzahlen hinaus prägt die Gestaltung der gebauten Umwelt die gesellschaftlichen Wohn-, Lebens- und Arbeitsverhältnisse. Menschen in modernen Gesellschaften verbringen den Großteil ihres Lebens in geschlossenen Räumen². Eine vorausschauende Planung, die der Diversität der Bevölkerung Rechnung trägt und den Bedürfnissen verschiedener gesellschaftlicher Gruppen, wie z.B. Kindern und alten Menschen, Menschen mit Behinderungen, großen Familien oder Alleinlebenden, gerecht wird, muss dem subjektiven Sicherheitsempfinden gerecht werden, Teilhabechancen bieten und den gesellschaftlichen Zusammenhalt stärken. Gebäude können die Lebensqualität verbessern oder verschlechtern, Menschen isolieren oder zusammenbringen, vielfältige Formen des sozialen Zusammenlebens ermöglichen oder behindern. Unsere gebaute Umwelt trägt somit in vielen verschiedenen Weisen zu unserem Leben und Zusammenleben bei.

Nicht zuletzt muss sich die Baubranche ihrer Verantwortung in der globalen Umwelt- und Klimakrise stellen und eine Transformation in Richtung Nachhaltigkeit vollziehen. 2018 gingen 36 Prozent des globalen Endenergieverbrauchs und 39 Prozent der globalen energie- und prozessbezogenen CO₂-Emissionen auf den Sektor Bauen und Gebäude zurück (Global Alliance for Buildings and Construction and International Energy Agency and the United Nations Environment Programme 2019: 9). Eine Trendwende ist bislang nicht zu erkennen. Gleichzeitig erwarten die Vereinten Nationen, dass sich der Gebäudebestand der Welt bis 2050 verdoppeln wird (United Nations 2019). Die Bauindustrie steht also global betrachtet vor der Herausforderung, lebenswerte Räume für eine wachsende Weltbevölkerung zu schaffen und gleichzeitig Emissionen, Abfallproduktion und Ressourcenverbrauch drastisch zu reduzieren.

Wo aber und von wem werden die Entwicklungspfade der Bauindustrie und die möglichen Bauwelten der Zukunft diskutiert? Bislang erfahren die aktuellen Herausforderungen und Transformationsprozesse der Branche nicht die ihrer Bedeutung angemessene öffentliche Aufmerksamkeit, nicht zuletzt, weil das enorme Transformationspotenzial neuer Bauweisen kaum bekannt ist. Da Planen und Bauen jedoch von existenzieller Bedeutung für das menschliche Zusammenleben

-
- 2 Im bau- und planungsbezogenen Diskurs ist immer wieder die Aussage zu finden, »der Mensch« verbringe rund 90 Prozent seines Lebens in geschlossenen Räumen (bspw. BundesBauBlatt 2013). Diese Aussage wird jedoch nie mit einer Quellenangabe versehen. Es ist daher völlig unklar, auf welche Untersuchung in welchem Zeitraum und welchem geographischen Raum sie sich bezieht.

sind und umwälzende soziotechnische Transformationen wie die Digitalisierung des Bauwesens mit weitreichenden gesellschaftlichen Folgen einhergehen, sollten sie Gegenstand gesellschaftlicher Reflektion und demokratischer Gestaltung sein. Welche Fragen wären hier zu stellen, welche Probleme zu behandeln und wie können wir uns ihnen nähern?

Demokratische Technikgestaltung in Bezug auf die Digitalisierung des Planens und Bauens kann, so unser Argument, nicht sinnvoll innerhalb eines konzeptionellen Rahmens begriffen werden, in dem »die« Digitalisierung, je nach Sichtweise, entweder »die« Lösung oder »das« Problem darstellt. Vielmehr ist es notwendig, zunächst zu fragen, welche Formen und Wege der Digitalisierung zu betrachten sind, was diese für wen und in welchem Kontext bedeuten, welche Versprechungen, Erwartungen und Befürchtungen mit ihnen verbunden sind, mit welchen wirtschaftlichen, politischen oder professionellen Strategien sie sich verknüpfen und mit welcher Durchsetzungs- und Deutungsmacht diese ausgestattet sind.

»Die« Digitalisierung gibt es nicht

Digitalisierung des Planen und Bauen meint Verschiedenes. Die unter dem allgemeinen Etikett »digitale Transformation« propagierte Nutzung digitaler und insbesondere computerbasierter algorithmischer Möglichkeiten eröffnet soziotechnische Zukünfte, die weit über die seit den 1970er Jahren vorangetriebene Umwandlung von analogen Informationen in digitale Formate hinausgehen und die operativen Praktiken des Bauens und der Ressourcennutzung viel unmittelbarer betreffen. Die von Mario Carpo (2017) als »zweite digitale Wende« bezeichneten, heute diskutierten Spielarten der Nutzung digitaler Werkzeuge für das Entwerfen und Bauen verdanken sich neuartigen Möglichkeiten durch maschinelles Lernen und erheblich gewachsene Rechnerkapazitäten. In dieser zweiten Welle, so Carpo, schaffe die Architektur auf Basis der Nutzung großer Datenmengen sowie der Fähigkeit von Computern, diese Daten zu filtern und daraus gleichermaßen simulierte wie physische Gebäude zu erzeugen (3D-Druck), neue Bauwelten. Diese zeichnen sich aus durch ungekannte Skalierungsmöglichkeiten sowie neue Berechnungs-, Kalkulations- und Denkweisen für komplexe Entwurfs- und Bauprozesse, in denen alle Elemente in kybernetischen Feedbackprozessen miteinander kommunizieren. »Solche Prozesse sind freilich mit der Hand nicht mehr kontrollierbar, sondern nur mit dem Rechner, weil jede lokale Änderung eines einzigen Elements globale Auswirkungen auf das Gesamtsystems hat«, schreibt Hovestadt schon 2008 mit Blick auf die neuartigen architektonischen Möglichkeiten (Hovestadt 2008: 11). Sie eröffnen außerdem revolutionäre Möglichkeiten der demokratischen Mitsprache.

Während viele unter der Digitalisierung des Bauens aber vor allem die digitale Modellierung der Bauwertschöpfungskette und ihre datenbasierte Koordina-

tion und Kontrolle verstehen, denken andere vor allem an eine Automatisierung modularer Bauprozesse in Analogie zum Fahrzeugbau. Wiederum andere sehen hochkomplexe ikonische Gebäude als Resultat digital gestützter, parametrischer Entwurfstechniken und noch andere denken an die Nutzung umweltschonender Material- und Bausysteme durch computerbasierte Konstruktionsmethoden. Zwischen manchen dieser Visionen liegen (Bau-)Welten, andere ähneln oder überlappen sich. Was eine Wunschvorstellung für die einen ist, kann für andere ein Albtraum sein. Welche Visionen der Zukunft des Bauens in welchem Maße Definitionshoheit gewinnen, welche Innovationspfade weitergeführt, welche verkümmern oder sich schließen werden, ist derzeit noch nicht mit Sicherheit abzuschätzen. Verschiedene soziotechnische Zukünfte sind möglich und ihre Chancen auf Realisierung werden nicht zuletzt von gesellschaftlichen Prioritätensetzungen und Problemwahrnehmungen bestimmt sowie von der Durchsetzungsmacht soziotechnischer Visionen im Rahmen ungleicher gesellschaftlicher Kräfteverhältnisse.

Die Bedeutung solcher Visionen lässt sich gut mit dem von Sheila Jasanoff und anderen entwickelten Begriff der *sociotechnical imaginaries* greifen (Jasanoff und Kim 2009; 2015; Konrad und Böhle 2019; Sismondo 2020). Jasanoff und Kim verstehen *sociotechnical imaginaries* als

»collectively held, institutionally stabilized, and publicly performed visions of desirable futures, animated by shared understandings of forms of social life and social order attainable through, and supportive of, advances in science and technology.« (Jasanoff 2015: 4)

Sociotechnical imaginaries sind wirkmächtige Leitvorstellungen davon, wie wissenschaftliche und technologische Entwicklungen zukünftig zu einem guten gesellschaftlichen Zusammenleben beitragen können und beitragen werden, insbesondere im Wettstreit mit den Forschungs- und Entwicklungsvorstellungen anderer Staaten oder Wirtschaftsräume. Beispiele solcher Vorstellungen, die als »Infrastrukturen der Vorstellung und Planung von Zukünften« (Sismondo 2020: 505) technologiepolitische Entscheidungen vorzugeben scheinen, wären etwa die Idee »Industrie 4.0« (Meyer 2019) oder »fourth industrial revolution (4IR)« (Schiolin 2019), oder auf Ebene der EU das Projekt der »knowledge-based bioeconomy« (Levidow et al. 2012).

Wissenschaftlich-technischer Wandel und gesellschaftliche Ordnungsprojekte sind in diesem Konzept eng miteinander verbunden und bringen sich interdependent hervor. Sie sind nicht das Werk begabter Marketingspezialisten allein, obwohl diese an ihrer Herausbildung beteiligt sein können, sondern emergieren aus den Deutungsangeboten verschiedener relevanter Akteursgruppen vor dem Hintergrund kollektiv geteilter Ziele, Wünsche und Hoffnungen sowie materieller Möglichkeiten und Widerstände. Soziotechnische Imaginationen werden dis-

kursiv in öffentlichkeitswirksamen Berichten, Empfehlungen und Narrativen über wissenschaftlich-technisch mögliche und wünschbare Zukünfte verbreitet.

Die Digitalisierung des Planens und Bauens ist Gegenstand von Visionen und Leiterzählungen in diesem Sinne. Wichtig ist, dass sich hinter Slogans wie »*knowledge-based bioeconomy*«, »Industrie 4.0« oder eben »digitales Bauen« unterschiedliche Vorstellungen verbergen, die auf unterschiedliche Zukünfte abzielen und miteinander um gesellschaftliche und politische Unterstützung konkurrieren. Sozio-technische Imaginationen sind also veränderliche, normativ aufgeladene, kollektiv geteilte, zukunftsbezogene Vorstellungen, die – und dies ist wichtig – mögliche Zukünfte nicht nur ausmalen, sondern deren Realisierung auch beeinflussen. Sie wirken performativ auf Prozesse der Forschung und Technologieentwicklung, der Innovation, des politischen Agenda Settings, der Regulierung und Implementierung wissenschaftlich-technischer Projekte ein. Sie können eine wichtige Rolle in der Öffnung oder Schließung unterschiedlicher Entwicklungspfade spielen, indem sie Ressourcen mobilisieren, Allianzen zwischen verschiedenen Akteursgruppen stiften, Forschungsfelder definieren, Ziele veranschaulichen sowie Schritte und Maßnahmen spezifizieren und dadurch die Möglichkeiten der Gestaltung soziotechnischer Zukünfte strukturieren. Visionen sind konstitutive Elemente dieser Imaginationen. Nicht jede individuelle Vision ist bereits eine soziotechnische Imagination, aber Visionen können zu einer solchen werden, wenn sie von Regierungen, sozialen Bewegungen, Unternehmen, Berufs- oder Interessenverbänden oder anderen Kollektiven geteilt und institutionell verankert werden (Jasanoff 2015: 4).

In diesem Beitrag wollen wir untersuchen, welche soziotechnischen Visionen derzeit im Diskurs um die digitale Transformation des Planens und Bauens um Deutungsmacht ringen und die Möglichkeiten der weiteren Gestaltung strukturieren. Wir beziehen uns dabei weitgehend auf Deutschland, haben allerdings auch Diskursbeiträge einflussreicher transnationaler Akteure sowie Beiträge aus dem angelsächsischen Raum, die als Vorreiter gelten, miteinbezogen.

Dazu haben wir Dokumente untersucht, die sich nicht nur beobachtend, sondern auch operativ-eingreifend auf die digitale Transformation des Planens und Bauens beziehen und dazu Einschätzungen, Erwartungen, Problembeschreibungen, Zielformulierungen, Strategien und Handlungsaufforderungen formulieren. Es handelt sich um Berichte und Analysen, Stellungnahmen und Diskussionsbeiträge aus der architektonischen Fachdebatte sowie von Stakeholdern aus Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft.³ Weiterhin greifen wir auf Interviews mit Ex-

3 Die Dokumentenanalyse umfasst einschlägige Berichte und Analysen, Leitfäden und Stellungnahmen von Bundesministerien und Bundesbehörden, Consultingunternehmen, Berufs- und Interessensverbänden aus Bauwirtschaft, Architektur und Ingenieurwesen, Umweltverbänden, Unternehmen, wichtigen internationalen Organisationen u.a.m. Wir haben die Dokumente gemeinsam mit Experteninterviews und Internetquellen einer vergleichen-

pert*innen und Stakeholdern aus Forschung, Unternehmen, Verbänden und Politik zurück. Interviews und Dokumente haben wir einer explorativen Analyse hinsichtlich der dort formulierten Ziele, Probleme, Erwartungen und Visionen unterzogen mit einem besonderen Fokus auf die Frage, welche Leistungen von computerbasierten Technologien des Planens und Bauens erwartet werden. Die untersuchten Berichte, Analysen, Leitfäden und Stellungnahmen greifen performativ in das *enactment* soziotechnischer Zukünfte ein; sie sind darauf gerichtet, bestimmte Zukünfte des digitalen Planens und Bauens aktiv herbeizuführen und andere zu verhindern. Es sind innovations- und transformationspolitische Interventionen, die Ziele ausmalen, die Wünschbarkeit oder Nicht-Wünschbarkeit bestimmter Alternativen aufzeigen, Handlungsnotwendigkeiten benennen, Handlungsoptionen nahelegen oder Handlungsvorgaben machen. Sie repräsentieren nicht einfach mögliche Zukünfte, sondern selektieren diese auch, gestalten sie und formulieren, welche Innovationsschritte im Weiteren zu gehen sind. Im Sinne von Joly und Rip (2012: 226) lassen sie sich als Elemente einer »Ökonomie wissenschaftlich-technischer Versprechen« begreifen, die Gewinner und Verlierer, vielversprechende und verzichtbare Entwicklungen, richtige und falsche Wege der Innovationspolitik definieren und sich unter Umständen, oftmals unter dem »Diktat der Dringlichkeit«, so verdichten, dass sie »zunehmend als politische Ordnung funktionieren« (Joly und Rip 2012: 226) und sogar hegemonial werden können.

Viele der untersuchten Beiträge präsentieren die digitale Transformation des Bauwesens als zwingend notwendig, um die großen Herausforderungen nicht nur der Branche sondern der ganzen Menschheit zu bewältigen: von der Steigerung der Produktivität in der Bauwirtschaft über Klimaneutralität, Abfallreduzierung und Katastrophenresilienz bis zur Schaffung von hochwertigem und zugleich bezahlbarem Wohnraum (World Economic Forum 2017: 3).

In unserer Untersuchung haben wir bewusst nicht nur umfassende Lösungsversprechen betrachtet, sondern auch kleinere Beiträge zur Debatte um Innovationsmöglichkeiten und -bedarfe im Bauwesen berücksichtigt. Auf dieser Basis identifizieren wir vier konkurrierende Leitvorstellungen als erstrebenswert propagierter computerbasierter Bauwelten: 1) eine auf Automatisierung zielende, produktivitätsorientierte Leitvorstellung, die Produktivitäts-, Effizienz- und Kontrollgewinne verspricht und letztlich auf eine Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit ausgerichtet ist, 2) eine auf Integration gerichtete Leitvorstellung, der zufolge neue computerbasierte Technologien es ermöglichen, die bestehende Fragmentierung

den, kodierenden Analyse unterzogen und dabei Wünsche, Erwartungen, Versprechungen, aber auch wahrgenommene Zwänge, Hemmnisse und Ansprüche herausgearbeitet, um mit Blick auf Ensembles von Visionen, diskursstrukturierenden Konzepten und akteursspezifischen Überzeugungen, zentrale *storylines* und Diskurskoalitionen in Anlehnung an Hajer (1997; 2002) zu identifizieren.

im Baubereich zu überwinden, Kooperation zu stiften und Abläufe störungsfreier zu gestalten, 3) die Vision einer singularisierten Bauweise, in welcher die Logik des Besonderen in Form vielfältiger Entwürfe und digital maßgeschneiderter Gebäude zu neuer Geltung gelangt, und 4) die Vision einer digitalen Nachhaltigkeit, in welcher computerbasierte Technologien das Bauen mit weniger Ressourcen, weniger Emissionen und weniger Abfall ermöglichen.

Diese Leitvorstellungen, so wollen wir zeigen, verweisen auf verschiedene mögliche soziotechnische Zukünfte und entsprechende soziotechnische Innovationspfade, um deren Öffnung oder Schließung sie ringen. Anliegen unseres Beitrags ist es, diese konkurrierenden Zukunftsentwürfe sichtbar zu machen und auf die Notwendigkeit einer gesellschaftlichen Auseinandersetzung über die entstehenden Bauwelten der Zukunft hinzuweisen.

Die Bauwelten der Zukunft

Im Folgenden werfen wir einen Blick in das Feld der Versprechungen, Visionen und Pfade in Richtung der angekündigten Bauwelten der Zukunft. Dafür ist es hilfreich zwischen *digital* und computerbasiert (*computational*) zu unterscheiden, denn es sind vor allem computerbasierte Technologien, die die »zweite digitale Wende« im Bausektor ermöglichen. Im letzten Jahrhundert hat die Digitalisierung vor allem die Verwaltung von Bauprozessdaten verändert, indem analoge Prozesse und Werte nachlaufend verarbeitet und gespeichert wurden und auf dieser Basis die wirtschaftliche Betrachtung von Beschaffungs- und Bauprozessen einem schärferen Blick unterzogen wurden. Seit den 1980er Jahren haben sich zudem CNC-Maschinen in der Vorfertigung einzelner Bauelemente verbreitet, also Werkzeugmaschinen, die durch eine computernumerische Steuerung (*computerized numerical control*) einzelne Bauteile wie Dachbalken, Türstöcke und Fenster automatisiert erzeugen, indem die Planungsdaten (Maßzahlen) dieser Werkstücke entweder manuell aus den technischen Zeichnungen in eine Steuerungssoftware eingegeben oder aber direkt aus computergestützten Zeichenprogrammen (*computer aided design*, CAD) in die Maschinensteuerung übernommen werden (*computer aided manufacturing*, CAM) (Hirsch-Kreinsen 1993). Dabei wird verstärkt daran gearbeitet, CAD und CAM stärker miteinander zu verschmelzen. Zudem hat parametrische Konstruktionssoftware die algorithmische Festlegung von Beziehungen zwischen verschiedenen Parametern eines Entwurfsmodells ermöglicht, sodass im Falle einzelner Änderungen der Rest des Modells interaktiv aufgrund voreingestellter Regeln reagiert.

In diesem Jahrhundert treiben zudem computerbasierte Berechnungs-, Modellierungs- und Denkwerkzeuge die Bauprozesse und ihre Bewertung vorauslaufend an: Die genaue Planung und die anschließenden Bauprozesse folgen

nicht mehr den geometrischen Berechnungen der entworfenen Formen, sondern Planungsentwürfe werden aus zugrunde gelegten Berechnungslogiken und (parametrischen) Entwurfsprogrammen erzeugt bzw. modelliert und sukzessive in einem digitalen Hin und Her zwischen simuliertem Entwurfsmodell und strukturierender Berechnungslogik optimiert, bis hin zu experimentellen Ansätzen, die computerbasierte Design- und Simulationstechnologien und robotische Fertigungsmethoden verbinden, um zum Beispiel die spezifischen Potentiale von Materialien zu erkunden und zu erschließen (Menges 2016). Caetano und Leitão (2020) zeichnen die Entstehung dieser neuen Herangehensweisen in der Architektur nach und kommen zu dem Schluss, dass die technologischen Entwicklungen von den frühen Vorläufern bis in die Gegenwart sowohl die Architekturtheorie und -praxis beeinflusst haben als auch von den dort formulierten Ansprüchen und Erwartungen geprägt wurden. Im Ergebnis lassen sich heute theoretisch Gebäude unter Nutzung computerbasierter Modelle planen, durch die Einbeziehung von Planungsdaten zu Ressourcenverbrauch, Kosten, Arbeitsprozessen, Stabilität etc. optimieren, abseits der Baustelle auf Roboterplattformen modularisiert vorfertigen und/oder unter Nutzung von Robotern, computergesteuerter Sensorik, 3D-Druck und *cloud computing* vor Ort erstellen und schließlich über ihren Lebenszyklus hinweg bewirtschaften. Ob und wie diese Möglichkeiten aber aufgegriffen, weiterentwickelt, eingebettet, organisiert und reguliert werden, ist bislang noch offen. In den von uns untersuchten Dokumenten lassen sich (zumindest) vier unterschiedliche Vorstellungswelten erkennen, die sich in Bezug zueinander entwickeln, aber zugleich unterschiedliche »Fortschrittserzählungen« zum Ausdruck bringen.

Vision 1: Schöne effiziente Bauwelt

Die derzeit wohl dominanteste Leitvision digital ertüchtigter Bauwelten ist die einer technologisch induzierten Sprunginnovation, durch welche die Bauindustrie die ihr nachgesagte technologische Rückständigkeit, ihre organisatorische Fragmentierung und vorindustrielle Orientierung am Einzelprojekt überwindet und dadurch Anschluss an die Produktivitätssteigerungen anderer Industriezweige findet.

Die Bauindustrie gilt allgemein als handwerklich orientiert und wenig innovationsfreudig. Als Nachzügler im Bereich der Digitalisierung sei sie hinter der Produktivitätsentwicklung anderer Industriezweige zurückgeblieben (BBSR 2019: 11). Zwar äußert sich die Krise aufgrund des anhaltenden Baubooms derzeit nicht in sinkenden Auftragszahlen, steigender Arbeitslosigkeit oder Betriebsschließungen, aber die projektierten Bauzeiten und -kosten werden selten eingehalten, Baumängel sind an der Tagesordnung und fast jedes größere Bauprojekt endet vor Gericht. In der Folge sehen zahlreiche Berichte, vor allem von Regierungen, Behörden und

Consultingfirmen, die Bauindustrie in einer tiefen Krise, die sich dramatisch zuspitzen werde, wenn nicht bald die Potenziale der Digitalisierung genutzt würden. »There is no alternative to digitization. [...] Construction needs to catch up«, postuliert etwa die Beratungsfirma Roland Berger (2016: 3).

Die Erwartungen an die digitale Transformation konzentrieren sich dabei auf Produktivitäts- und Effizienzsteigerung und letztlich Konkurrenzfähigkeit auf globalen Märkten. Richtungsgebend ist hier die Vorstellung einer Industrialisierung des Baubereichs durch die Umstellung auf eine automatisierte oder teilautomatisierte modulare Produktionsweise. In dieser (nicht mehr nur) imaginierten Bauwelt werden Gebäude in modularen Elementen, fabrikmäßig und unabhängig von den Unwägbarkeiten und Widrigkeiten auf der Baustelle hergestellt. Außerhalb der Fabrik kann die modularisierte Produktionsweise mit dem Einsatz von Robotern, Drohnen, *Augmented Reality*-Brillen, Exoskeletten, 3D-Druck und weiteren computer-gestützten Technologien auf der Baustelle verbunden werden (Microsoft & RIBA 2018).⁴ Während ein solchermaßen effizientes Bauen in Deutschland lange Zeit mit eintönigem »Plattenbau« assoziiert wurde, ist die modulare Bauweise (Elementbauweise) in anderen Ländern wie z.B. Skandinavien oder Japan weiter verbreitet (McKinsey & Company 2019: 1).

Neben der Effizienzsteigerung durch Modularisierung und Standardisierung spielt in dieser imaginierten Bauwelt auch ein verbessertes Baumanagement eine wichtige Rolle. Dazu kann die Integration aller bauwerksrelevanten Daten in ein Modell beitragen, um zu jedem Zeitpunkt über den Baufortschritt und die Baukosten informiert zu sein. Dies wird insbesondere durch eine Bauwerksdatenmodellierung (*Building Information Modeling* BIM) vorangetrieben, die wir als Teil des integrativen Versprechens der zweiten Vision ansprechen werden. Hier konzentrieren wir uns zunächst auf die effizienzorientierte Modularisierung des Bauens.

Vor allem im angelsächsischen Raum wird unter dem Stichwort digitales Bauen die modularisierte, voll- oder teilautomatisierte, fabrikmäßige Produktion von Bauelementen oder auch ganzen Gebäuden verstanden⁵: »In broad terms, modular construction involves producing standardized components of a structure in an off-site factory, then assembling them onsite«, so McKinsey & Company (2019: 7). Die Fertigung von Bauelementen, wie z.B. Tragwerkelementen, Decken oder Wänden, wird also nicht von einzelnen Gewerken auf der Baustelle vorgenommen, sondern in der Fabrikhalle (*off site fabrication*) in (teil-)automatisierter Massenproduktion. Die vorgefertigten Bauelemente werden anschließend zur Baustelle transportiert

4 Siehe auch die Features von The BIM, einem Videokanal für die Baubranche auf YouTube, z.B. https://www.youtube.com/watch?v=BkRsA_v5oY4.

5 Im »Glossar Digitalisierung am Bau« der Bundesarchitektenkammer ist das Stichwort Modularisierung nicht enthalten, Digitalisierung wird hier weitgehend mit BIM identifiziert (BAK 2019).

und zusammengesetzt. Unter den kontrollierten Bedingungen der Fabrikhalle, so die Verfechter*innen dieses Ansatzes, wird möglich, was unter den wechselhaften und mit vielfältigen Unsicherheiten verbundenen Bedingungen auf der Baustelle nicht möglich ist: die Übertragung der automatisierten Massenproduktion auf das Bauwesen. Die *off site fabrication* beinhaltet den Versuch, das im Automobil- und Flugzeugbau entwickelte Paradigma der seriellen, robotischen Produktionsweise auf das Erstellen von Gebäuden zu übertragen. Modulare Konstruktion gibt es zwar auch ohne Automatisierung und Roboterisierung, automatisierte und roboterisierte Massenproduktion von Bauelementen jedoch nicht ohne Modularisierung.

Dabei verändert sich notwendig der Charakter dessen, was gebaut wird; die Gebäude werden von Projekten zu Produkten, »[f]rom projects to products« (McKinsey & Company 2019). Das risikokapitalfinanzierte US-amerikanische Holzbau-*Start-up* Katerra war mit dieser Strategie des produktifizierten Bauens zeitweilig sehr erfolgreich (Wadlinger 2020), bis es im Frühjahr 2021 in Konkurs ging. War ein Gebäude zuvor ein einmaliges Objekt, das für einen bestimmten Ort unter bestimmten lokalen Bedingungen, Anforderungen, Schwierigkeiten und Risiken geplant und gebaut wurde, so wird es nun als standardisierbares Produkt gesehen, welches unter kontrollierten Bedingungen produziert und beliebig repliziert werden kann. Dass die neuen technologischen Möglichkeiten dabei auch eine gewisse Variierbarkeit erlauben, werden wir im Folgenden noch vorstellen.

Off site construction wird nicht nur von Consulting-Firmen propagiert, sondern auch von anderen einflussreichen *stakeholdern* wie z.B. der britischen Architektenvereinigung (Microsoft & RIBA 2018) oder dem World Economic Forum (2016; 2017). Digitalisierung, Automatisierung und Modularisierung sind die Zukunft der Bauindustrie, ihre neue Existenzbedingung, so die Botschaft bspw. des einflussreichen Farmer Reports für die britische Regierung (Farmer 2016). Die Vision digitaler Transformation, die hier präsentiert wird, ist die eines reibungslosen, störungsfreien, ressourceneffizienten und risikoarmen Prozessablaufs und einer automatisierten und optimierten Wertschöpfungskette. Kosten- und Zeitersparnis sollen nicht zuletzt dadurch erreicht werden, dass der automatisierte Prozessablauf den Einsatz qualifizierter Fachkräfte überflüssig macht – und so zugleich das Problem des Fachkräftemangels in der Baubranche löst:

»...off-site (modular) manufacture, robotics, and additive manufacturing or 3D printing of components (.) can lead to faster, cheaper, more resource-efficient and easier-to-assemble building components that help the industry fill the continually widening skills gap by needing less skilled workers.« (Microsoft & RIBA 2018: 41)

So werde die modularisierte Fertigung von Bauelementen bereits in britischen Gefängnissen eingesetzt, wo ungelernte Gefangene Bauteile für zukünftige Gefängnisse bauen (Mills 2019). Dass es auch Schattenseiten und Verlierer*innen dieser

Entwicklung gibt, ist zwischen den Zeilen allerdings auch zu lesen. So ist bspw. absehbar, dass die Lösung des Fachkräftemangels durch Automatisierung und Robotisierung eben auch eine Reduktion von Arbeitsplätzen bedeutet. Zwar versprechen z.B. McKinsey & Company, dass die Reduktion unterm Strich durch Produktionswachstum ausgeglichen werde, aber selbst wenn dies zuträfe, wird erwartet, dass die Schere zwischen einem Hoch- und Niedriglohnsektor, zwischen qualifizierten und unqualifizierten Arbeitsbereichen innerhalb der Baubranche weiter aufgeht und ein wachsender Teil von Fachkräften in die Rolle von Handlangern oder Aufpassern für algorithmisch gesteuerte Maschinen rutschen wird (Kropp und Wortmeier 2020).

Deutlicher werden die Voraussagen dahingehend, dass wohl nicht alle Büros und Wirtschaftsunternehmen den Sprung in die Digitalwirtschaft schaffen werden. Die Umstellung auf automatisierte *off site* Produktion ist mit enormen Investitionskosten verbunden. Nicht nur die Anschaffung entsprechender Hard- und Software, Maschinerie, Roboter, Fabrikhallen, sondern auch das Anwerben, Aus- und Weiterbilden von geeignetem Personal ist mit Hürden und Risiken verbunden, die von international agierenden Großkonzernen leichter und schneller zu bewältigen sind als von kleinen und mittleren Unternehmen (BMVI 2015: 2). So wird die automatisierte, produktifizierte Bauweise mit wirtschaftlichen Konzentrationsprozessen verbunden sein, aus denen vermutlich kapitalintensive, global agierende Tech-Konzerne als Gewinner hervorgehen werden. Ein techno-ökonomischer Trend, der sich dabei abzeichnet, ist der Trend zu einem »ganzheitlichen«, vertikal integrierten Ansatz. Auch Kattera und Sidewalk Labs, ein Alphabet Inc-Tochter- und Google-Schwesterunternehmen im Bereich des produktifizierten Holzbaus, das in Toronto ein ganzes Viertel geplant hatte, verfolgten einen Ansatz der vertikalen Integration. »Ganzheitlich« bedeutet hier ein »*all in one*«-Modell, mit dem die ganze Kette der Bauleistungen von der Planung bis zur Endfertigung im eigenen Unternehmen erbracht und eine möglichst lückenlose, optimierte Wertschöpfungskette erreicht wird. Dies umfasst auch die Übernahme spezialisierter Unternehmen und das Abwerben qualifizierten Personals (McKinsey & Company 2020b: 6).

Diese Vision trifft jedoch auch auf Vorbehalte. Insbesondere unter Architekt*innen löst sie Befürchtungen einer anspruchslosen, unattraktiven, konventionalisierten Billigbauweise aus, für die sie und ihre Kunst kaum mehr gebraucht werden. Aber auch glühende Verfechter*innen eines produktifizierten Ansatzes sehen kulturell bedingte Widerstände auf Seiten der prospektiven Kund*innen. Insbesondere ein Eigenheim solle etwas Besonderes sein, Individualität ausdrücken und dem Geschmack der Bewohner*innen entsprechen:

»...we live in a society where standardisation is celebrated and even desired in areas, but where the vast majority of consumers seek a bespoke building or home.

This is in notable contrast to some other cultures around the world, where off-site manufacturing techniques and modular homes have thrived. In the UK, many consumers perceive the term »offsite« to mean low quality, boxy looking modular buildings or homes that lack character or architectural appeal....«,

so ein Experte im B1M feature »Manufacturing Construction.« (Mills 2019).

Eine der Herausforderungen für die Industrie besteht deshalb darin, den Anspruch auf Individualität und Besonderheit mit dem Ansatz der standardisierten Massenfertigung zu vereinbaren: »One of the fundamental challenges in automated construction is the one-off, highly customized nature of architecture compared with industrial manufacturing« (Tibbits 2017: 12). Genau dies sei aber mit Hilfe neuer computerbasierter Technologien möglich geworden: Diese erlauben die Standardisierung des Produktionsprozesses bei gleichzeitiger Variation einzelner Produkteigenschaften und damit die Annäherung an die Vision einer singularisierten Bauweise, auf die wir weiter unten eingehen werden.

Vision 2: Schöne integrierte Bauwelt

Weniger von industriellen als von administrativen Stakeholdern vorangetrieben wird eine Leitvorstellung, in der das schon erwähnte *Building Information Modeling* (BIM) eine zentrale Rolle spielt. Dabei geht es vor allem um eine planbare, transparente Darstellung von Bauprojekten in Form digitaler 3D-Modelle, die um ständig aktualisierte Echtzeitdaten aus Bauprozess und -betrieb angereichert werden.

Laut Bundesarchitektenkammer bezeichnet BIM

»...eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.« (BAK 2019)

Das zweidimensionale, zeichnungsbasierte Planen wird von einem dreidimensionalen, digitalen Bauwerksmodell abgelöst, in welches theoretisch alle für die Planung, Ausführung und Bewirtschaftung relevanten Informationen einfließen und für alle Beteiligten in Echtzeit verfügbar sind (Sundermeier und Beidersandwich 2019: 28). Es ermöglicht das schnelle Iterieren von Entwurfsvarianten, das zügige Implementieren von Planungsänderungen und theoretisch das integrierte Verfolgen von Planungsinformationen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes (Menges 2018: 111).

Diese Vision einer besser integrierten Planung und Fertigung von Gebäuden hat eine lange Geschichte, die weniger von den wachsenden Anforderungen an die Projektdokumentation geprägt ist, die heute viele Architekt*innen und Inge-

nieur*innen mit BIM verbinden, als vielmehr von den kybernetischen Hoffnungen einer umfassenden Steuerung und Kontrolle durch digitale Vernetzung, die sich in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts mit dem Computer als universaler Maschine verknüpfen (Vrachliotis 2012). Im Zentrum der Integration steht ein objektbezogenes, mit einer Datenbasis verbundenes 3D-Modell, das als eine Art digitaler Zwilling die Bauprozesse für alle Beteiligten unmittelbar nachvollziehbar machen soll, als dies aufgabenbezogene 2D-Zeichenpläne für verschiedene Gewerke und Ziele eines Bauprozesses tun. Die Integration aller Prozesse einer Baustelle in einem Modell – eine wahre Herkulesaufgabe – verspricht nicht nur eine vielseitige Synopse, sondern ein besseres Bauwerk, in dessen Entstehung die verschiedenen Möglichkeiten sowie die Vielfalt der Teile Berücksichtigung finden und das durch geeignete Interaktions- und Integrationsprozesse und wechselseitige Informationen zu einem besser abgestimmten Ganzen führt. Dabei sollen gleichermaßen physikalische, technische, materielle, wie auch wirtschaftliche, baukulturelle, ökologische und nutzungsspezifische Parameter einfließen. So verbinden sich mit dem digitalen Objektbezug in BIM Hoffnungen, oftmals fehlende technische, zeitliche und materielle Passungen sowie Konflikte und falsche Bezüge zu vermeiden und stattdessen neuartige Synergien zu ermöglichen.

Während 1975 erste »Building Description Systems« Erwähnung finden, formulierte der renommierte Computertechniker Douglas C. Engelbart schon 1962 die entsprechende Architekturvision unter dem Namen »*Augmented Human Intellect*«. Im Rahmen eines Forschungsantrags illustriert er diese Vision mit einem fiktiven Beispiel (Engelbart 1962: 3ff.):

»Let us consider an augmented architect at work. He sits at a working station that has a visual display screen some three feet on a side; this is his working surface, and is controlled by a computer (his »clerk«) with which he can communicate by means of a small keyboard and various other devices.

He is designing a building. He has already dreamed up several basic layouts and structural forms, and is trying them out on the screen. The surveying data for the layout he is working on now have already been entered, and he has just coaxed the clerk to show him a perspective view of the steep hillside building site with the roadway above, symbolic representations of the various trees that are to remain on the lot, and the service tie points for the different utilities. The view occupies the left two-thirds of the screen. With a »pointer,« he indicates two points of interest, moves his left hand rapidly over the keyboard, and the distance and elevation between the points indicated appear on the right-hand third of the screen.

Now he enters a reference line with his pointer, and the keyboard. Gradually the screen begins to show the work he is doing--a neat excavation appears in the hillside) revises itself slightly, and revises itself again. After a moment, the architect changes

the scene on the screen to an overhead plan view of the site, still showing the excavation. A few minutes of study, and he enters on the keyboard a list of items, checking each one as it appears on the screen, to be studied later.

Ignoring the representation on the display, the architect next begins to enter a series of specifications and data--a six-inch slab floor, twelve-inch concrete walls eight feet high within the excavation, and so on. When he has finished, the revised scene appears on the screen. A structure is taking shape. He examines it, adjusts it, pauses long enough to ask for handbook or catalog information from the clerk at various points, and readjusts accordingly. He often recalls from the »clerk« his working lists of specifications and considerations to refer to them, modify them, or add to them. These lists grow into an evermore-detailed, interlinked structure, which represents the maturing thought behind the actual design.

Prescribing different planes here and there, curved surfaces occasionally, and moving the whole structure about five feet, he finally has the rough external form of the building balanced nicely with the setting and he is assured that this form is basically compatible with the materials to be used as well as with the function of the building.

Now he begins to enter detailed information about the interior. Here the capability of the clerk to show him any view he wants to examine (a slice of the interior, or how the structure would look from the roadway above) is important. He enters particular fixture designs, and examines them in a particular room. He checks to make sure that sun glare from the windows will not blind a driver on the roadway, and the »clerk« computes the information that one window will reflect strongly onto the roadway between 6 and 6:30 on midsummer mornings.

Next he begins a functional analysis. He has a list of the people who will occupy this building, and the daily sequences of their activities. The »clerk« allows him to follow each in turn, examining how doors swing, where special lighting might be needed.

Finally he has the »clerk« combine all of these sequences of activity to indicate spots where traffic is heavy in the building, or where congestion might occur, and to determine what the severest drain on the utilities is likely to be.

All of this information (the building design and its associated »thought structure«) can be stored on a tape to represent the design manual for the building. Loading this tape into his own clerk, another architect, a builder, or the client can maneuver within this design manual to pursue whatever details or insights are of interest to him--and can append special notes that are integrated into the design manual for his own or someone else's later benefit.«

Heute wird die Verbreitung des *Building Information Modelling* in Deutschland (wie in den Nachbarländern) vor allem vom Staat vorangetrieben. Regierungsinstanzen versprechen sich dadurch zum einen den Anschluss der Baubranche an die Pro-

duktivitätsgewinne anderer Branchen (BMVI 2018: 3), zum anderen an die internationale Konkurrenz: »Vor allem in den Vereinigten Staaten, dem ostasiatischen Raum, den skandinavischen Ländern, dem Vereinigten Königreich und den Niederlanden wird die Nutzung von BIM systematisch vorangetrieben« warnte der Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI 2015: 3). Seit Dezember 2020 ist die Nutzung von BIM auch in Deutschland für Infrastrukturvorhaben gesetzlich vorgeschrieben, eine Ausweitung auf öffentlich finanzierte Hochbauten ist angekündigt. Die Bundesregierung erwartet von der allgemeinen Umstellung auf BIM eine bessere Koordination und optimierte Steuerung des Bauablaufs, die Reduzierung von »Planungsrisiken, technische(n) Risiken, Genehmigungsrisiken, Schnittstellenrisiken« (BMVI 2015: 7) sowie von Fehlern, aufwändigen Nachträgen und Gerichtsverfahren, dazu mehr Kostensicherheit, verbesserte Termintreue und Qualität. Integration bedeutet hier eine intensivere Koordination der Projektbeteiligten auf der Basis von Datenmodellen zum Zwecke der Fehlervermeidung:

»Teamorientierte, kooperative Problemlösungsmechanismen sind mit hohen Effizienzvorteilen und Produktivitätssteigerungen verbunden. Fehler bzw. Lücken bei der Planung können durch die enge Kooperation der Planer und IT-gestützte Kollisionsprüfungen weitgehend vermieden werden.« (BMVI 2015: 7)

Um Nachhaltigkeit und eine klima- und umweltschonendere Bauweise geht es in den deutschen Regierungsberichten demgegenüber bisher nicht (BMVI 2015: 2018).

Auch die BIM-Euphorie wird nicht von allen Bauschaffenden gleichermaßen geteilt. So fällt die Rezeption unter Architekt*innen wesentlich verhaltener aus. Eine Umfrage unter Mitgliedern der Bundesarchitektenkammer von 2018 ergab, dass im Schnitt 12 Prozent der Architekturbüros in den vorangegangenen Jahren BIM eingesetzt hatten (Reiß & Hommrich 2018: 108). Allerdings war der Anteil sehr unterschiedlich verteilt: unter Büros mit 10 oder mehr Personen lag er bei 34 Prozent, bei solchen mit 2-4 Personen nur bei 8 Prozent wobei der Anteil der Architekturbüros in Deutschland, in denen zehn oder mehr Personen arbeiten, nur 10 Prozent aller Büros beträgt (Reiß & Hommrich 2018: 36). In einer Befragung von Entscheidungsträgern aus Planung und Design, Bauunternehmen und Anlagenbau von 2019 gaben 35 Prozent der Befragten aus dem Bereich Planung und Design an, eine ausgereifte BIM-Strategie zu haben, nach der sie bereits arbeiten (Pricewaterhouse Coopers 2019: 9). 52 Prozent der Planenden meinten jedoch, es sei schwierig Fachkräfte für BIM zu finden und 48 Prozent sahen die notwendigen hohen Investitionen als Herausforderung an, 46 Prozent die technische Implementierung (PwC 2019: 27). Während das Bundesbauministerium also eine BIM-Zukunft mit Risikominimierung, Umsatzsteigerung, wirtschaftlichem Wachstum, Produktivitäts- und Qualitätszuwächsen verspricht, sehen andere Akteur*innen auch Risiken und Gefahren:

»Neben dem großen Potential, das BIM birgt, gibt es auch Gefahren. Die Industrie kann dadurch einen so starken Einfluss entwickeln, dass Architekten in ihrer Gestaltungsfreiheit beeinträchtigt werden. Für manche Bauaufgaben ist es hilfreich, bei innovativen Lösungen wird es schwieriger. Auch können Firmen, die planen und ausführen, die Vorteile in der Prozessoptimierung stärker ausspielen, wenn sich ihre Baustellen und Bauten stark ähneln. Natürlich auch, weil bei Totalunternehmern zahlreiche Schnittstellen (und somit Kommunikationsprobleme) zumindest stark verringert werden, da alles »aus einem Haus« kommt. Bei komplexerer Architektur ist jedes Bauwerk ein Prototyp, was auch die Baustelle komplizierter macht.« (Zöch 2020: 63)

Bruno Latour (2005: 221ff.) hat vorgeschlagen, für das Verständnis von technischen Stabilisierungswirkungen all jene Bewegungen zu notieren, die notwendig wären, um die gleichen Wirkungsergebnisse ohne die Technologien zu erreichen. Im Fall von BIM ist es so, dass die Widerstände gegen die Nutzung erheblich sind und das scheint daran zu liegen, dass diese Bewegungen vor allem von kleineren Planungsbüros als Gefährdung ihrer Gestaltungs- und Planungsfreiheit und auch ihrer Geschäftsmodelle wahrgenommen werden. Während die Advokat*innen der Bauwerksdatenmodellierung die schleppende Verbreitung von BIM vor allem auf fehlende Kenntnisse und Anreize, sich mit dem Verfahren vertraut zu machen, zurückführen, scheinen die Versprechen von besserer Transparenz und Effizienz auf Nutzerseite nicht auszureichen: Sie nehmen die versprochene »Integration« vielmehr als Bedrohung wahr. Aus organisationssoziologischer Sicht wird für die zögerliche Aufnahme von BIM vor allem die kleinteilige und fragmentierte Struktur der Baubranche verantwortlich gemacht, in der neben rechtlichen Hürden auch fehlendes Kooperationsvertrauen der Übernahme integrativer digitaler Ansätze im Wege stehen (Bishop et al.: 2009). Mietinen und Pavola (2014) führen zudem die fehlende Evidenz für die versprochenen Produktivitätsgewinne durch BIM ins Feld, sodass in ihrem Untersuchungsfeld die befürchteten negativen rechtlichen und planerischen Folgen und die erwarteten Umstellungskosten für diese Form der digitalisierten Zusammenarbeit abschreckender erscheinen als der mögliche (und zudem unsichere) Nutzen.

Die schleppende Aufnahme von BIM in der Breite der deutschen Architekturbüros kann nicht allein auf deren Innovationsfeindlichkeit zurückgeführt werden. Vielmehr zeigen Sundermeier und Beidersandwich (2019) aus bauwirtschaftlicher Sicht, dass sich die versprochenen Effizienz- und Produktivitätsgewinne auf zwei Teilsegmente des Bauparkes konzentrieren: zum einen auf hochkomplexe, kundenspezifische Einzelprojekte, die budgetkräftige Auftraggeber voraussetzen, zum anderen auf standardisierte Serienbauten, bei denen die hohen Investitionskosten durch Skaleneffekte aufgefangen werden. Was sich dagegen nicht rechnet, sind kleinere, kundenorientierte, nicht-skalierbare Einzelprojekte. Zu erwarten wäre

demnach eine Konzentration des Baugeschehens mit BIM in diesen zwei Marktsegmenten: Ausnahmebauten und Serienbauten. Diejenigen Büros und Unternehmen, die in BIM investieren, werden sich vermutlich auf diese Segmente konzentrieren, während diejenigen, die dies nicht tun, ihr ökonomisches Überleben riskieren. »Modernise or die« (Farmer 2016) lautet entsprechend der Imperativ des Farmer Reports zur Lage der britischen Bauindustrie. Diese Problematik ist nicht auf BIM beschränkt, sondern trifft unter kapitalistischen Wettbewerbsbedingungen auf jede bautechnische Innovation zu, die mit hohen Anfangsinvestitionen verbunden ist. So ergab eine Unternehmensumfrage in der Bauwirtschaft von 2018, dass ein zu hoher Investitionsbedarf sowie ein erhöhter Zeitaufwand aus Sicht der befragten Unternehmen die beiden größten Hemmnisse für die Digitalisierung der Planungsprozesse bildeten (BBSR 2019: 61).⁶

Während das Integrationsversprechen von BIM sich im Wesentlichen auf eine reibungslosere Kooperation der verschiedenen menschlichen Baubeteiligten richtet, beziehen umfassendere Integrationsvorstellungen auch die Interaktion mit und zwischen nicht-menschlichen Baubeteiligten wie digitalen Entwurfsmodellen, Maschinen, Robotern, Simulationen und Sensoren mit ein. Die datenbasierte Vernetzung und Kommunikation ermögliche eine direktere, kontinuierliche und wechselseitige Anpassung von Planungsinformationen und Produktionsschritten und damit nicht nur eine integrative Organisation von Management und Planungsabläufen, sondern zugleich das Zusammenführen von Planung und Produktion:

»More recently, the research has been expanded towards cyber-physical production systems, in which the fabrication machine is no longer dependent on receiving a comprehensive and finite set of manufacturing instructions, but instead has the sensorial ability to gather information from its fabrication environment and change its production behaviour in real time.« (Menges 2016: 80)

Computerbasierte Integration bedeutet hier nicht nur Kooperation am Modell, sondern die Integration von Entwurf und Ausführung, Planung und Produktion. Damit verbunden wäre eine, wie Jan Knippers schreibt, grundlegende Neuorganisation des Baugeschehens:

»This intertwined interaction between global form, generation of mesh, structural analysis and fabrication has little or nothing in common with the classical linear sequence of design: form by the architect, structure by the engineer and, finally, fabrication and installation by the contractor. [...] the use of computational design linked to computationally driven manufacturing breaks down traditional linear

6 Eine Umfrage unter Architekturbüros in Großbritannien kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass hohe Investitionskosten das Haupthindernis für die Umstellung auf computer-basierte Planungstechnologien darstellen (Microsoft & RIBA 2018: 35).

and hierarchical design strategies. It requires a new interpretation of the entire process and the involvement of the different players and the communication between them. With computational design and manufacture, who is doing what and how the data is transferred is not defined at the beginning and has to be discussed and agreed upon each time.« (Knippers 2013: 78f.)

Gleichzeitig zeigen sich in der Bauwirtschaft Integrationsversionen, die weniger mit persönlichen Aushandlungs- und Verständigungsprozessen als mit technoökonomischen Konzentrationsprozessen zu tun haben. Auf das Modell der vertikalen Integration, d.h. die Vereinigung der Wertschöpfungskette in einem Unternehmen, sind wir bereits eingegangen. Vertikal integrierte Unternehmen bieten gebündelte Leistungen an und können gegenüber dem Auftraggeber als alleiniger Vertragspartner agieren. Sie bedienen damit einen Trend, der im angelsächsischen Raum unter dem Titel *Design-Build* bekannt ist und sich zunehmend etabliert. *Design-Build* ist ein Modell der Integration von Planung und Ausführung, bei dem die Auftraggeber alle Leistungen aus einer Hand erhalten. BIM bietet dafür als gemeinsame Arbeitsplattform die technologische Voraussetzung. In der Praxis bedeutet dies meist, dass Bauunternehmen dazu übergehen, Architekt*innen einzustellen und eigene Planungsabteilungen aufzubauen. Architekturbüros können zwar als Subunternehmer agieren, als Anbieter von *Design-Build* jedoch kaum mit großen, integrierten Bauunternehmen (»Generalunternehmer«) konkurrieren, zumal die allermeisten Architekturbüros in Deutschland kleine und mittlere Büros sind. Es könnte daher sein, dass die Integration von Planung und Ausführung mittelfristig zur Stärkung großer Bauunternehmen auf Kosten kleinerer Architekturbüros führt, wie ein Interviewpartner darstellt:

»Dann werden nämlich die [Firmenname] und wie sie heißen, halt mit ihren *Design-Build* Konzepten rauskommen und dann haben die den Geschosswohnungsbau in der Schublade, haben ihren Architekten da sitzen, der lässt ein Skript laufen, der macht drei Vorschläge, Fenster so groß, Fenster so groß, Fenster so groß, der drückt dann wirklich nur noch auf den Knopf, das ist ja softwaremäßig möglich. Dieses *generative development design*, das überrollt uns.« (Interview BIM-Koordinator)

Vision 3: Schöne singularisierte Bauwelt

Die Digitalisierung des Bauens verspricht nicht nur Automatisierung und integrierte Planung, sondern auch neue Möglichkeiten der Individualisierung von Bauwerken. Die Ansprüche auf Besonderheit, auf den individuellen Charakter von Gebäuden, ästhetische Attraktivität und Ausdrucksstärke oder auf die Berücksichtigung lokaler Besonderheiten oder Bedürfnisse der späteren Nutzer*innen adressiert eine weitere Vision des digitalen Planens und Bauens, die zu den bereits vor-

gestellten in einem Spannungsverhältnis steht. Wir können sie als Leitvorstellung einer computerbasierten Singularisierung im Baubereich bezeichnen. Singularisierung bezeichnet im Sinne von Andreas Reckwitz (2017) den soziokulturellen Bedeutungsgewinn einer Logik des Besonderen, im Gegensatz zur konventionalisierten Logik des Allgemeinen. Dieser Bedeutungsgewinn des Besonderen veränderte seit etwa den 1980er Jahren das Wertesystem und die Strukturen der spätmodernen Gesellschaft. Die Durchsetzung der Singularisierungslogik verdankt sich, so Reckwitz, dem Zusammentreffen dreier Strukturmomente, nämlich dem Aufstieg des Kulturkapitalismus mit den *creative industries* als Leitbranche, dem Siegeszug der digitalen Medientechnologien, d.h. des Internet, der sozialen Medien und der damit verbundenen Kommunikations- und Kulturformate, und der »postromantischen Authentizitätsrevolution in der neuen Mittelklasse« (Reckwitz 2017: 19).

Die Logik der seriellen, industrialisierten Massenproduktion entspricht der modernen, rationalistischen Logik des Allgemeinen. Sie manifestiert sich im Architektur- und Baubereich in der Dominanz und auch gesellschaftlichen Akzeptanz konventioneller, genormter, einheitlicher Wohn- und Bauformate vom Plattenbau bis zum Reihenhaushaus. Während sich jedoch auf Ebene der Produkte, d.h. der Häuser und Gebäude, oder auch der Teilelemente und Bausysteme bereits in den 1950er und 60er Jahren eine Standardisierung, Konventionalisierung und Vereinheitlichung durchgesetzt hatte, blieben die Bauprozesse noch weitgehend an den spezifischen Gegebenheiten des Einzelprojektes sowie den Traditionen und Organisationsformen des Handwerks orientiert. Mit den spektakulären neuen computer-basierten Entwurfsmöglichkeiten treffen nun Singularisierung und Standardisierung im Baubereich aufeinander und durchdringen sich gegenseitig; auf der einen Seite stehen soziokulturelle Ansprüche und Sehnsüchte, die sich auf das Einzigartige, Unverwechselbare, Besondere richten, welches Identifikation, Authentizität und Aufmerksamkeit verspricht, und auf der anderen eine neue Stufe der Rationalisierung und Standardisierung, die sich nun vor allem auf der Ebene der Prozesse und der diese ermöglichenden technischen Infrastrukturen vollzieht. So kann *mass customization* als Resultat einer wechselseitigen Anpassung der Logik industrialisierter Massenproduktion und der Logik der Singularisierung verstanden werden.

Bezogen auf Architektur und Bauwesen und deren digitale Transformation lassen sich zwei Stränge einer Singularisierungsvision identifizieren: im hochpreisigen Marktsegment gehören dazu Stichworte wie »ikonische Architektur«, »*non-standard architecture*« sowie »komplexe Geometrien«, im unteren Preissegment herrschen individuell variierte Produkte auf Basis modularisierter Bausysteme vor.

In den 1990er Jahren, der Zeit des global durchgesetzten Kapitalismus, beschleunigte sich sowohl die Entwicklung computergestützter Technologien in der Architektur als auch die Proliferation ikonischer Architektur. Zwar gab es schon zu-

vor herausragende, einzigartige Gebäude, die zum Wahrzeichen einer Stadt oder eines ganzen Landes wurden, aber, so Leslie Sklair

»the production and representation of architectural icons in the pre-global era (roughly before the 1950s) were mainly driven by those who controlled the state and/or religion, whereas the dominant forms of architectural iconicity for the global era are increasingly driven by those who own and control the corporate sector.« (Sklair 2006: 21)

In dieser Zeit, so Sklair, entstehen mit Hilfe von CAD und CAM eine Reihe ikonischer Bauwerke von gefeierten »*starchitects*« wie Norman Foster oder Frank Gehry. Das Guggenheim Museum in Bilbao, welches mittels einer von Gehry Technologies weiterentwickelten, aus dem Flugzeugbau stammenden Software (CATIA) geplant und gebaut wurde (Kolarevic 2001: 122), wurde zum Wahrzeichen der Stadt und zum Inbegriff moderner ikonischer Architektur schlechthin. Nach ihm bezeichnet der »Guggenheim Effekt« oder auch »Bilbao Effekt« seitdem die gezielte Aufwertung einer Stadt oder eines Ortes durch ikonische Architektur. »Ikonisch« bedeutet für Sklair einerseits Berühmtheit, andererseits »reference to the symbolism and expression of difference, the special and the unique, as in the ›iconic status‹ of notable buildings and spaces and their sites, and architects« (Sklair 2006: 30). Das Ikonische folgt damit einerseits einer Logik der Singularisierung im Reckwitzschen Sinne, andererseits ist es im globalisierten Kapitalismus eingebaut in Strategien kommerzieller Macht; ikonische Bauten sind einzigartig und unverwechselbar und repräsentieren zugleich die Macht, den Erfolg und den Reichtum von Banken, Versicherungen, Großkonzernen oder anderen vermögenden Auftraggebern und dienen als Besucher- und Konsumentenmagnete für eine ganze Region.

Die 1990er markieren nach Mario Carpo (2013) die erste digitale Wende in der Architektur, wobei digitale Architektur nach Carpo nicht einfach Gebäude bezeichnet, die mit Hilfe digitaler Technologien entworfen oder erstellt wurden, sondern Bauprojekte, die ohne diese so nicht hätten entstehen können (Carpo 2013: 8). Die verschiedenen Strömungen und Phasen dieser Wende können hier nicht nachgezeichnet werden. Unter dem Aspekt der Versprechen und Erwartungen, die an digitale Architektur geknüpft werden, kann jedoch gesagt werden, dass digitale Technologien in Architektur- und Designkreisen mit neuartigen, nahezu unbegrenzten Möglichkeiten und Spielräumen für komplexe, nicht-standardisierte (*non-standard*), variationsreiche Architektur verknüpft werden und tatsächlich eine Vielfalt einzigartiger, spektakulärer, häufig kurviger und organizistisch anmutender Bauten hervorgebracht haben. Mit den seit den 1990er Jahren entwickelten computerbasierten Modellierungs- und Berechnungstechnologien standen Architekt*innen und Designer*innen zunehmend Instrumente zur Verfügung, um solche nicht-euklidischen Gebäude zu realisieren, die ohne computerbasierte Technologien nicht möglich gewesen wären (Imperiale 2000: 38). Digitale Architektur in diesem Sinne

eröffnete für eine Avantgarde des Planens und Bauens einen ungekannten Möglichkeitsraum zur Schaffung einer neuen Formenvielfalt in Gestalt unkonventioneller, spektakulärer Einmal-Bauten, m.a.W. einer neuen singularisierten Architektur. Die Realisierung dieser Singularisierungschancen basierte lange Zeit auf dem Interesse ressourcenstarker Auftraggeber; computerbasierte singularisierte Architektur blieb daher ein Ausnahmephänomen:

»Adopting these offerings required exceptional circumstances: high-profile, complex and risky projects, often led by singular visionary project owners who knew that ›safer‹ methods were riskier than trying a different approach, were willing to be the magnets for risk associated with change, and had the ambition to take control and lead.« (Shelden 2020: 8)

Dies ändert sich gegenwärtig durch die Verbreitung von *mass customization*, d.h. die industrielle Herstellung individualisierter Produkte zu Kosten der Massenproduktion. Auch dieses Prinzip wird seit Längerem in anderen Industriebranchen wie der Automobil- oder Textilindustrie angewendet und wandert nun in den Bausektor ein.

Die Idee, das Prinzip der *mass customization* zur Produktion von Bauelementen zu nutzen, um die ökonomischen Vorteile der standardisierten Massenproduktion mit den Ansprüchen von Kund*innen an personalisierte Besonderheit zu vereinbaren, taucht in der Literatur seit Anfang der 2000er auf (Kolarevic 2003: 52f.), in der industriellen Baurealität jedoch erst in den letzten Jahren. Diesbezüglich ist im Deutschen auch von individueller Vorfertigung die Rede. Die Deutsche Bauzeitung (DBZ) erwartet, dass dieses Prinzip in nächster Zeit »die jetzt etablierten Prozesse in der Baubranche etwas aufmischen« wird (Centgraf o.J.).

Inzwischen gibt es mit Wikihouse bereits ein digitales Bausystem zur Eigenfertigung eines Häuschens nach eigenen Vorstellungen und Bedürfnissen – innerhalb bestimmter, vorgegebener Wahlmöglichkeiten: »WikiHouse is an adaptable system of standardised parts. This means each house can be unique without costing more. One size doesn't need to fit all«, verspricht die Homepage von Wikihouse.⁷ Die digitale Singularisierung oder singularisierte Digitalisierung des Planens und Bauens ist damit auf der Ebene des Massenkonsums angekommen.

Vision 4: Schöne nachhaltige Bauwelt

Eine weitere Vision, die an Bedeutung gewinnt, ist die Vision einer nachhaltigen Transformation des Bausektors durch digitale Möglichkeiten in Richtung umwelt-, klima- und ressourcenschonenderer Bauweisen. Lange Zeit spielte der Bausektor

7 <https://www.wikihouse.cc/About>, abgerufen 29.10.2020.

im öffentlichen und politischen Umweltdiskurs kaum eine Rolle, dieser konzentrierte sich vielmehr auf die Handlungsfelder Verkehr, Industrieproduktion, Energieerzeugung oder auch Landwirtschaft und privaten Konsum. Der Energie- und Ressourcenverbrauch der Bauwirtschaft und die damit verbundenen Klimawirkungen treten erst seit Kurzem ins öffentliche Bewusstsein. Zahlreiche Organisationen und Stakeholder in Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft setzen derzeit das Thema Nachhaltigkeit im Bauwesen auf die politische Tagesordnung.⁸

Die Anforderungen betreffen den Beitrag der Bauindustrie zur Erreichung der Klimaziele durch ressourcenschonende Bauprozesse, aber auch Fragen der Entsorgung von Baumaterialien z.B. bei Abriss von Gebäuden, das Problem der Flächenversiegelung sowie die Erschöpfung von nicht-nachwachsenden Baustoffen. Im Jahr 2016 waren laut Umweltbundesamt die mineralischen Bauabfälle einschließlich des Bodenaushubs die mengenmäßig wichtigste Abfallgruppe in Deutschland (Umweltbundesamt 2019). Laut Umweltprogramm der Vereinten Nationen hat sich die Nachfrage nach Sand und Kies in den letzten 20 Jahren verdreifacht (Matzig 2019; UNEP 2019). Sand dient als unverzichtbarer Grundstoff für Beton und Zement, ist aber endlich.

Die Bauindustrie steht vor der Herausforderung, eine grundlegende nachhaltigkeitsorientierte Transformation zu vollziehen und dies in sehr kurzer Zeit. Der Schlüssel zur Bewältigung dieser Herausforderung, so ist zuletzt häufiger zu vernehmen, liege darin, die beiden aktuellen »Megatrends« in der Bauindustrie, Nachhaltigkeit und Digitalisierung, zu verbinden, um die vielfältigen Potenziale digitaler Technologien für die Entwicklung umwelt- und klimaschonender Planungs- und Bauprozesse zu nutzen (BundesBauBlatt 2016; Lehmann 2020). Die digitale Dokumentation von Baumaterialien kann bspw. alle nutzbaren Bestandteile eines Gebäudes erfassen, so dass diese bei Abbruch oder Rückbau wiederverwendet werden können (Oppen 2019). Die Digitalisierung kann damit die Grundlage für das Recycling von Baumaterialien (*Urban Mining*) bieten und den Einstieg in eine konsequente Kreislaufwirtschaft beschleunigen. Digitale Planungsmodelle, Gebäudesimulationen und die kollaborative Daten- und Informationsnutzung im Rahmen von BIM bieten neue Möglichkeiten für eine energie- und ressourceneffizientere Gebäudeplanung sowie ein verbessertes *Life Cycle Assessment* des Gebäudes und

8 Für Deutschland siehe bspw. das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR, https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/themen/bauen/nachhaltiges-bauen/_node.html), die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB, <https://www.dgnb.de/de/verein/>), die Bundesarchitektenkammer (BAK, <https://www.bak.de/presse/aktuelles/phase-nachhaltigkeit-gestartet/>) sowie (BMI 2019) und (Umweltbundesamt 2010); international u.a. das IPCC (Lucon et al., 2014) sowie Sustainable Development Goal (SDG) 11 der Agenda 2030 (United Nations 2015).

helfen, materialintensive Doppelplanungen und Bauprozesse zu vermeiden. Additive Fertigungsverfahren oder 3D-Druck in der Fertigung von Bauelementen können Ressourcen- und Abfallmengen reduzieren und zudem die lokale Produktion stärken und Transportwege verkürzen (Suntharalingam et al. 2019). In der Vision digitaler Nachhaltigkeit oder nachhaltiger Digitalisierung konvergiert ökologische Nachhaltigkeit mit ökonomischer und technischer Effizienz. Einer unserer Gesprächspartner, ein Experte für BIM, bringt diese Vision auf den Punkt:

»Ja, also das ist das Thema, wo ich die Nachhaltigkeit bei uns sehe oder die Chance noch nachhaltiger zu planen. Ich vermeide einfach Wiederholung in der Planung, ich vermeide sinnlose Aufgaben für Leute, die Maschinen machen können, weil auch das ist ein Stück weit Nachhaltigkeit, wenn ich einfach vielleicht nicht jemand hinstellen muss, der zwanzig Pläne tausend Mal kopieren muss oder zu einem Bauamt acht Ordner mit denselben Plänen bringen muss, wenn ich da ein ... Modell schicke, ein IFC-Modell oder ein Revit-Modell, was auch immer, ist das auch ein Stück weit Nachhaltigkeit. Wenn ich im Vorhinein koordiniert miteinander zusammenarbeite, mit allen Projektbeteiligten, spare ich mir viel Stress und viele, viele Überstunden auf der Baustelle und Material, das effektiver eingesetzt werden kann. Ich kann viel genauer Mengen ermitteln und dadurch, dass ich auch die Statik mit ins Modell integriere, kann ich auch viel genauer rechnen, d.h. viel materialsparender und im besten Falle... Attribute fürs Facility Management (...), wenn die reinschreiben, wie oft Wartungsintervalle notwendig sind für gewisse Elemente, dann hilft das allen und dann hilft das der Nachhaltigkeit, dann sind die Maschinen oder Gebäudeausstattungen länger in Betrieb, dadurch dass sie einfach besser gewartet werden können. Und am Ende weiß ich auch, indem ich schon im Vorhinein plane, wie Sachen recycelt werden können oder müssen.« (Interview BIM Koordinator)

Vereinzelte gibt es jedoch auch Stimmen, die darauf hinweisen, dass Digitalisierung und Nachhaltigkeit nicht unbedingt gleichgerichtet sind. So ist insbesondere der erhöhte Strombedarf durch digitale Steuerung und Vernetzung zu nennen. Derzeit entfallen 11 Prozent des globalen Stromverbrauchs auf das Internet, zwei Drittel davon werden noch immer durch fossile Energien gedeckt (Lehmann 2020: 20). Hinzu kommt der Mehrbedarf an endlichen Ressourcen, wie z.B. seltenen Erden für die Herstellung digitaler Geräte (Crawford und Joler 2018). Und nicht zuletzt fällt die Problematik der Rebound-Effekte ins Gewicht, d.h. die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz bezogen auf das Einzelprodukt wird durch Mehrproduktion und Mehrverbrauch wieder aufgehoben. Ähnliches gilt für das Ziel der Abfallvermeidung durch digitale Fertigungsverfahren, wie z.B. 3D-Druck, wie uns ein Gesprächspartner erklärte:

»Also wieviel Abfall fällt eigentlich dann doch an beim Fertigen? Weil normalerweise ja die These ist, dass relativ wenig Abfall anfällt. Wenn man sich dann doch mal anguckt, wie gedruckt wird, wie gebaut wird mit solchen digitalen Prozessen, sieht es vielleicht doch anders aus und da sozusagen genau hinzugucken und auch die Schwierigkeiten genau zu benennen, ist, glaube ich, wichtig, um auch die Qualität auf dieser Ressourcenebene dann darstellen zu können.« (Interview Forschung und Entwicklung)

Es kann also nicht vorab davon ausgegangen werden, dass der Einsatz digitaler Technologien per se Effizienz- und Nachhaltigkeitsgewinne erzeugt, sondern es kann durchaus zu Zielkonflikten zwischen Nachhaltigkeit und Digitalisierung kommen. Wenn das Ziel tatsächlich die Etablierung einer klimaneutralen Bauweise ist, müssen Probleme und Zielkonflikte als solche benannt und adressiert werden. Das allerdings ist bisher nur ausnahmsweise der Fall.

Schluss

Ein bekanntes, Winston Churchill zugeschriebenes Zitat besagt: »Zuerst formen wir unsere Gebäude, dann formen sie uns«. Tatsächlich prägen gebaute Räume unsere Erfahrungen, unsere alltäglichen Praktiken und unsere Vorstellungen, Ideen und Möglichkeiten eines guten Lebens und Zusammenlebens. Doch wie bewusst formen wir diese Räume und wieviel Aufmerksamkeit schenken wir den genutzten und vor allem den nicht genutzten Möglichkeiten?

Die Sammlung und Analyse aktueller Leitvorstellungen zur (digitalen) Zukunft der Bauindustrie macht deutlich, dass durch computerbasierte Entwurfs- und Bauprozesse neue bautechnische Möglichkeiten in der Branche denkbar werden, die mit weitreichenden und sehr unterschiedlichen Vorstellungen von zukünftigen Bauwelten verbunden sind. Auch wenn diese Möglichkeiten in Deutschland derzeit kaum ausgeschöpft werden, so zeigen unsere Interviews und die Dokumentenanalyse doch die durchgehende Erwartung, dass digitale Technologien die Baubranche, die Bauweisen und die entstehenden Gebäude, Infrastrukturen und Räume in den kommenden Jahren fundamental verändern werden. Die Art und Weise, wie diese bautechnischen Möglichkeiten aufgegriffen und weiterentwickelt werden, bestimmt, was in der Zukunft als schöne Bauwelt gilt, welche Qualitätsansprüche zukünftig formuliert und welche Qualitätskriterien berücksichtigt werden. Ob sich die zukünftige Baukultur dabei vor allem an Produktivitäts- und Gewinnoptimierung, an Integrationsleistung, ikonischer Singularität oder an Nachhaltigkeit orientiert, wird aber schon im heutigen Gerangel um Deutungsmacht mitentschieden: je nach errungener Deutungshoheit und Überzeugungskraft setzen sich dabei bestimmte Leitvorstellungen für soziotech-

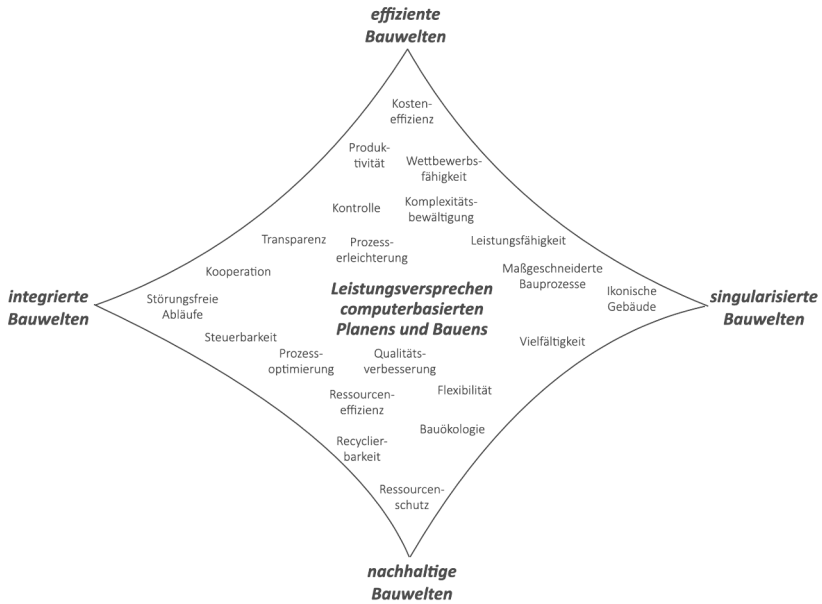
nische Bauzukünfte durch und schließen oder marginalisieren damit alternative Vorstellungen und Entwicklungspfade. Aus der Vielfalt der Möglichkeiten werden auch in der digitalen Gesellschaft der Zukunft – nicht anders als in Gegenwart und Vergangenheit – nur wenige realisiert. Diese selektive Auswahl bestimmt die gebaute Umwelt, unsere architektonisch geprägten Praktiken der Raumnutzung und -aneignung (Lefebvre 1991) und auch die Formen ihrer mehr oder weniger flexiblen, nachhaltigen oder industriellen Produktion bis hin zu den Vorstellungen möglicher Räume und wünschenswerter Räumlichkeiten als grundlegende Komponenten des Zusammenlebens (Soja 2000). Es lohnt sich, diesen Entwicklungen heute Aufmerksamkeit zu schenken und sich in die Debatten um digitale Bautechnologien, Bauweisen und Baukulturen einzumischen. Aus der Perspektive demokratischer Technikgestaltung geht es dabei um die Bewertung konkurrierender Leistungsversprechen und der ihnen zugrundeliegenden Leitvorstellungen, die immer auch Vorstellungen des guten Lebens und Zusammenlebens auf diesem Planeten sind.

Zu diesem Zweck haben wir in diesem Beitrag einen Überblick über das diskursive Feld der gegenwärtig vorherrschenden Leistungsversprechen erstellt, den wir mit der folgenden Abbildung noch einmal verdichtet präsentieren wollen. Das Feld spannt sich zwischen vier maßgeblichen Leitvorstellungen zu möglichen zukünftigen computerbasierten Bauwelten auf, die um Beachtung, Einfluss, Vorrang, Verwirklichungs- und Weiterentwicklungsmöglichkeiten ringen.

Im gegenwärtigen Diskurs, so können wir festhalten, kommen Spannungen und Zielkonflikte zwischen diesen unterschiedlichen Leitvorstellungen und Leistungsversprechen kaum vor. Im Gegenteil, durch die Berichte, Leitfäden und Stellungnahmen zieht sich eine dominante Botschaft: Die digitale Durchdringung der Bauwirtschaft ist die Lösung für alle drängenden Probleme. Ob Fachkräftemangel oder Bevölkerungswachstum, Wohnraumangel, Schwäche der öffentlichen Haushalte, Wettbewerbsfähigkeit der nationalen Bauwirtschaft, Erhöhung des Durchschnittsalters in der Bevölkerung oder die globale Klima- und Umweltkrise – für all diese großen Herausforderungen scheint die Digitalisierung die richtige Antwort, und zwar für alle gleichermaßen.

Diese umfassenden Lösungsversprechen lassen leicht übersehen, dass die jeweiligen *Imaginaires* sehr wohl Schwerpunkte setzen, die in verschiedene Richtungen weisen und Zielkonflikte verursachen: Eine Verbesserung der Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit muss nicht zugleich auch eine optimierte Bauökologie, Flexibilität und Kooperation bedeuten. Maßgeschneiderte Bauprozesse ermöglichen singuläre Planungsobjekte mit hoher Leistungsfähigkeit, aber Flexibilität und Ressourcensparsamkeit können auf der Strecke bleiben und auch die gesellschaftlich geforderte Bezahlbarkeit gerät in dieser Perspektive leicht aus dem Blick. Da Digitalisierung und Computerisierung Zielkonflikte nicht aus der Welt schaffen können, ist die in vielen Dokumenten suggerierte, allumfassende Verbesserung

Abbildung 1: Leistungsversprechen digital und computerbasiert ermöglichter Bauwelten (eigene Darstellung)



kaum erwartbar, eher wohl, dass die Widersprüche und Spannungsverhältnisse zugunsten algorithmisch bearbeitbarer Parameter ausgeblendet werden. So können wir feststellen, dass eine Reihe von Fragen nicht gestellt werden, wie z. B. die Frage, welche Umwelt- und Klimawirkungen durch das erhöhte Transportaufkommen von *offsite fabrication* entstehen oder ob es unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten überhaupt sinnvoll ist, möglichst schnell möglichst viel zu bauen oder ob nicht andere Nutzungs-, Wohn- und Lebensformen sowie eine öffentliche Kontrolle der Miet- und Bodenpreise den Mangel an bezahlbarem Wohnraum besser lösen könnten (Vogel 2019). Schattenseiten, Ambivalenzen und Zielkonflikte müssen sichtbar gemacht werden, um verhandelbar zu sein. Dabei wird auch verhandelbar sein müssen, ob die digitale Transformation in jedem Fall die beste Antwort auf alle eingangs genannten Krisen darstellt, oder ob (auch) andere soziotechnische oder auch nicht-technische Arrangements für bestimmte Herausforderungen die bessere Alternative sein können. Die technischen Neulinge des generativen Designs, die digitalen Zwillinge, Roboterflotten und -plattformen werden sich in Zukunft wohl an der Schaffung unserer Bauwelten beteiligen: Uns obliegt jedoch, Ansprüche und

Kriterien zu formulieren, wie dies geschehen soll, damit zukünftige Lebewesen in diesen Bauwelten lebenswerte Bedingungen finden können.

Literatur

- BAK (2019). Bundesarchitektenkammer. Glossar Digitalisierung am Bau. *Deutsches Architekten Blatt* [online]. <https://www.dabonline.de/2020/03/11/glossar-digitalisierung-am-bau-architektur-planung-bim-manufacturing/>. Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- BBSR (2019). Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung. *Beitrag der Digitalisierung zur Produktivität in der Baubranche*. BBSR-Online-Publikation, 19/2019. Bonn: Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-19-2019-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=1. Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- Bishop, D., Felstead, A., Fuller, A., Jewson, N., Unwin, L. and Kakavelakis, K. (2009). Constructing learning: adversarial and collaborative working in the British construction industry. *Journal of Education and Work*, 22(4): 243-260.
- BMI (2019). Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat. *Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden* (3. Ausgabe). Berlin: Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat.
- BMVI (2015). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. *Stufenplan Digitales Planen und Bauen*. Berlin: Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- BMVI (2018). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. *Umsetzung des Stufenplans »Digitales Planen und Bauen«*. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- BundesBauBlatt (2013). Wenn Wohnen krank macht. *BundesBauBlatt* [online], 10/2013, https://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_Wenn_Wohnen_krank_macht_1817387.html. Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- BundesBauBlatt (2016). Digitalisierung und Nachhaltigkeit: Mehr Mut zu Innovationen. *BundesBauBlatt* [online], 7-8/2016, https://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_Mehr_Mut_zu_Innovationen_2609910.html. Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- BMAS (2019). Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Forschungsbericht 522/6. *QuatOQ – Qualität der Arbeit, Beschäftigung und Beschäftigungsfähigkeit im Wechselspiel von Technologie, Organisation und Qualifikation – Branchenbericht Baugewerbe* -. Berlin: Bundesministerin für Arbeit und Soziales.

- Caetano, I. and Leitão, A. (2020). Architecture meets computation: an overview of the evolution of computational design approaches in architecture. *Architectural Science Review*, 63(2): 165-174.
- Carmo, M. (2013). *The digital turn in architecture 1992-2012*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Carmo, M. (2017). *The second digital turn: design beyond intelligence*. Cambridge: MA, MIT Press.
- Centgraf, S. (o.J.). Digitalisierung: Disruptive Trends in der Architektur. *DBZ, der Podcast* (4).
- Crawford, K. and Joler, V. (2018). *Anatomy of an AI System: The Amazon Echo as an Anatomical Map of Human Labor, Data and Planetary Resources*. <https://anatomyof.ai>. Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- Engelbart, D. C. (1962). *Augmented Human Intellect Study*. Proposal for Research. Prepared for Headquarters Air Force Office of Scientific Research. https://web.stanford.edu/dept/SUL/library/extra4/sloan/mousesite/EngelbartPapers/B5_F18_ConceptFrameworkPt1.html#1.A. Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- Farmer, M. (2016). *The Farmer Review of the UK Construction Labour Model. Modernise or Die. Time to decide the industry's future*. Construction Leadership Council (CLC).
- Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency and United Nations Environment Programme (2019). *2019 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*.
- Hajer, M. (1997). Ökologische Modernisierung als Sprachspiel: eine institutionell-konstruktivistische Perspektive zum Umweltdiskurs und zum institutionellen Wandel. *Soziale Welt*, 48(2): 107-132.
- Hajer, M. (2002). Discourse coalitions and the institutionalization of practice: the case of acid rain in Britain. In *The Argumentative Turn in Policy Analysis and Planning*, eds. F. Fischer and J. Forester, 43-76. London: Taylor & Francis.
- Hirsch-Kreinsen, H. (1993). *NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozess. Amerikanische und deutsche Innovationsmuster der Fertigungstechnik*. Frankfurt a.M./New York: Campus.
- Hovestadt L. (2008). Überwindung des Rasters. *Arch+* 189, 10-11.
- Imperiale, A. (2000). *New flatness: surface tension in digital architecture*. Basel/Boston/Berlin: Birkhäuser.
- Jasanoff, S. (2015). Future imperfect: science, technology and the imaginations of modernity. In *Dreamscapes of Modernity*, eds. Jasanoff, S. and Kim, S.-H., 1-33. Chicago: Chicago University Press.
- Jasanoff, S. and Kim, S.-H. (2009). Containing the atom: Sociotechnical imaginaries and nuclear power in the United States and South Korea. *Minerva*, 47: 119-146.
- Jasanoff, S. and Kim, S.-H. (2015). *Dreamscapes of modernity: Sociotechnical imaginaries and the fabrication of power*. Chicago: University of Chicago Press.

- Joly, P.-B. and Rip, A. (2012). Innovationsregime und die Potenziale kollektiven Experimentierens. In *Gesellschaft innovativ. Wer sind die Akteure?*, Hg. G. Beck und C. Kropp, 217-233). Wiesbaden: Springer.
- Knippers, J. (2013). From model thinking to process design. *Architectural Design*, 83(2), 74-81.
- Kolarevic, B. (2001). Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age. *Architectural Information Management*, 05 Design Process 3:117-123.
- Kolarevic, B., Ed. (2003). *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. London: Spon Press.
- Konrad, K. and Böhle, K. (2019). Socio-technical futures and the governance of innovation processes – An introduction to the special issue. *Futures*, 109: 101-107.
- Kropp, C. und Wortmeier, A. K. (2020). Intelligente Systeme für das Bauwesen: überschätzt oder unterschätzt? In *Digitalisierung souverän gestalten. Innovative Impulse im Maschinenbau*, Hg. E. A. Hartmann, 98-118. Heidelberg/Berlin: Springer Vieweg.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford: Oxford University Press.
- Lefebvre, H. (1991). *The Production of Space*. Malden/Oxford: Blackwell Publ.
- Lehmann, T. (2020). Digital Nachhaltig. DBZ (01), 18-21.
- Levidow, L., Birch, K. and Papaioannou, T. (2012). EU agri-innovation policy: two contending visions of the bio-economy. *Critical Policy Studies*, 6(1), 40-65.
- Lucon, O., Üрге-Vorsatz, D., Zain Ahmed, A., Akbari, H., Bertoldi, P., . Cabeza, L. F. et al. (2014). Buildings. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K. et al. Cambridge/New York: Cambridge University Press.
- Matzig, G. (2019). Der Sand wird knapp. SZ, 5. Mai 2019.
- McKinsey & Company (2019). *Modular construction: From projects to products*. McKinsey & Company.
- McKinsey & Company (2020a). *The next normal in construction. How disruption is reshaping the world's largest ecosystem*. McKinsey & Company.
- McKinsey & Company (2020b). *The Next Normal. The future of the high-rise: Creating people-centric spaces*. McKinsey & Company.
- McKinsey Global Institute (2017). *Reinventing Construction. Full Report: A Route to Higher Productivity*. McKinsey Global Institute.
- McKinsey Global Institute (2018). *Digitization, AI and Productivity. Extracts from MGI Research. November 2018*. www.oecd.org/sti/ind/digital-transformation-business-session-2-manyika.pdf. Zugegriffen: 10. Dezember 2020.
- Menges, A. (2016). Computational material culture. *Architectural Design*, 86(2), 76-83.

- Meyer, U. (2019). The emergence of an envisioned future. Sensemaking in the case of »Industrie 4.0« in Germany. *Futures*, 109, 130-141.
- Microsoft & RIBA (2018). *Digital Transformation in Architecture*. <https://www.architecture.com/-/media/gathercontent/digital-transformation-in-architecture/additional-documents/ribamicrosoftdigitaltransformation2018pdf.pdf> Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- Miettinen, R. und Paavola, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*, 43:84-91.
- Mills, F. (2019). *Offsite Manufacturing Explained* – Special Report by Fred Mills. The B1M <https://www.theb1m.com/IA-test.html>. Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- Oppen, S. v. (2019). Digitalisierung: Endlich die Welt retten? *DAB*, 4 https://www.ak-berlin.de/fileadmin/user_upload/Fachthemen_Digitalisierung/Digitalisierung_Endlich_die_Welt_rennen.pdf Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- Pricewaterhouse Coopers (2019). *Digitalisierung der deutschen Bauindustrie 2019*. <http://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digitalisierung-der-deutschen-bauindustrie-2019.pdf>. Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- Reckwitz, A. (2017). *Die Gesellschaft der Singularitäten. Zum Strukturwandel der Moderne*. Berlin: Suhrkamp.
- Reiß & Hommrich (2018). *Ergebnisse der Befragung der selbstständig tätigen Mitglieder der Fachrichtung Architektur (Hochbau)*. https://www.diearchitekten.org/fileadmin/news/Fuer_Mitglieder/Statistiken/2018_BAK_Strukturuntersuchung_Bericht_Selbststaendige_Architekten_FINAL.pdf. Zugriffen: 10. Dezember 2020.
- Roland Berger (2016). *Digitization in the construction industry. Building Europe's road to »Construction 4.0«*. München, Roland Berger GmbH.
- Schiølin, K. (2020). Revolutionary dreams: Future essentialism and the sociotechnical imaginary of the fourth industrial revolution in Denmark. *Social Studies of Science*, 50(4), 542-566.
- Shelden, D. (2020). Entrepreneurial Practice: New Possibilities for a Reconfiguring Profession. *Architectural Design*, 90(2), 6-13.
- Sismondo, S. (2020). Sociotechnical imaginaries: An accidental themed issue. (Editorial). *Social Studies of Science* 50(4), 505-507.
- Sklair, L. (2006). Iconic architecture and capitalist globalization. *City*, 10(1), 21-47.
- Soja, E. (2000). *Postmetropolis. Critical Studies of Cities and Regions*. Oxford, Blackwell.
- Sundermeier, M. und Beidersandwich, P. (2019). Trends und Strategien für das Planen mit BIM – eine ökonomische Betrachtung. In *Digitales Planen und Bauen*, Hg. A. u. I. B. Bund Deutscher Baumeister, 28-49. Berlin: BDB.
- Suntharalingam, T., Nagaratnam, B., Poologanathan, K., Hackney, P. and Ramli, J. (2019). *Evolution of additive manufacturing technology in construction industry & challenges on implementation: a review*.

- Tibbits, S. (2017). From automated to autonomous assembly. *Architectural Design*, 87(4): 6-15.
- Umweltbundesamt (2010). *Nachhaltiges Bauen und Wohnen. Ein Bedürfnisfeld für die Zukunft gestalten*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Umweltbundesamt (2019). *Bauabfälle*. <https://www.umweltbundesamt.de/print/15265>. Zugegriffen: 10. Dezember 2020.
- UNEP (2019). United Nations Environment Program. *Sand and Sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources*. <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/rising-demand-sand-calls-resource-governance>. Zugegriffen: 10. Dezember 2020.
- United Nations (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Zugegriffen: 10. Dezember 2020.
- United Nations (2019). World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423).
- Vogel, H.-J. (2019). *Mehr Gerechtigkeit! Wir brauchen eine neue Bodenordnung – nur dann wird auch Wohnen wieder bezahlbar*. Freiburg i.Br.: Herder.
- Vrachliotis, G. (2012). *Geregelte Verhältnisse. Architektur und technisches Denken in der Epoche der Kybernetik*. Wien/New York: Springer.
- Wadlinger, T. (2020). Disruption. Wie die US-Firma Katerra die Bauindustrie aufmischt. *Deutsche Bauzeitschrift* (01), 42-44.
- World Economic Forum (2016). *Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology*. Prepared in Collaboration with the Boston Consulting Group. Genf: World Economic Forum.
- World Economic Forum (2017). *Shaping the Future of Construction. Inspiring innovators, define the industry*. Prepared in collaboration with the Boston Consulting Group. Genf: World Economic Forum.
- Zöch, P. (2020). Zehn Beobachtungen zur Digitalisierung in Architektur und Bauwesen. *Deutsche Bauzeitschrift*, 1: 62-63.

