



Fabian C. Schmid

# Digitalisierung des Bauschaffens

Grundlagen für eine souveräne,  
nachhaltige und wissenszentrierte  
Anwendung von IT

 Springer Vieweg



# Digitalisierung des Bauschaffens

---

Fabian C. Schmid

# Digitalisierung des Bauschaffens

Grundlagen für eine souveräne,  
nachhaltige und wissenszentrierte  
Anwendung von IT

Fabian C. Schmid  
Fakultät für Architektur und Bauwesen  
Hochschule Augsburg  
Augsburg, Deutschland

ISBN 978-3-658-39088-4      ISBN 978-3-658-39089-1 (ebook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-39089-1>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Karina Danulat

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

*Meinen Eltern gewidmet*

---

## Vorwort

Das vorliegende Buch konnte durch die spannenden Diskurse im Kontext des Forschungsprojektes DigitalTWIN, während meiner Zeit beim Fassadenbauspezialisten seele, durch die Impulse in meinem akademischen Werdegang sowie durch den offenen Austausch mit Kollegen und Freunden entstehen. In den vergangenen sieben Jahren prägten Problemlösungen und Innovationen für internationale Bauprojekte, die digitale Transformation im Mittelstand, das Change Management sowie die Benutzererfahrung und -akzeptanz die Ausrichtung meiner Arbeit und die im Buch zusammengefassten Gedanken.

Die Erfahrungen und Erkenntnisse konnten durch Fassadenbau- und Entwicklungsprojekte während der interessanten und prägenden Zeit bei seele, durch DigitalTWIN, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen des Förderprogramms Smart Service Welt II gefördert wurde und durch die unzähligen Einflüsse bei Projekt- oder Netzwerktreffen entstehen. Dem Fördergeber, den Forschungs- und Netzwerkpartnern sowie der seele-Gruppe meinen herzlichen Dank für die wichtigen Impulse und das stetige Fordern von praktikablen Lösungen für konkrete Bauprojekte. Der tiefe und teilweise kontroverse Austausch sowie die gemeinsame Erarbeitung von Ideen und Ergebnissen ermöglichten mir vielfältiges und tiefes Wissen aufzubauen. Ein weiterer Einfluss entstand aus dem Erfahrungsaustausch mit Netzwerkpartnern rund um die Stiftung FIDS (Stiftung für behinderte Menschen). Herzlichen Dank für den Einblick, die Inspiration und den offenen Austausch.

Fachliche Orientierung und eine gesamtheitliche Sichtweise, aber auch das Ringen um Lösungen in Bezug auf die dominierenden Herausforderungen unserer Zeit wurden mir durch den akademischen Werdegang und insbesondere durch Professor Werner Sobek, Professor Ernst Messerschmid, Professor Nader Tehrani und Professor Hansgeorg Binz zuteil. Den Kollegen und Freunden aus Forschung und Entwicklung der unterschiedlichen Fachbereiche gilt Dank für die Zeit, den Einblick und den Diskurs zu ganz unterschiedlichen Themen und Perspektiven. Neugier, Passion und partnerschaftliche Zusammenarbeit waren auch bei DigitalTWIN Erfolgsgaranten, weshalb meinen damaligen Kollegen aus der IT-Forschung bei seele besonderer Dank gilt. Die vielen Begegnungen ermöglichten

mir einen immer währenden Diskurs, die Auseinandersetzung mit Theorie und Praxis des Entwurfs- und Entwicklungshandelns, der Gestaltung sowie die Prüfung von systematisch erarbeiteten Lösungsvarianten.

Zuletzt gilt meiner Familie für die stetige Förderung, für den bedeutsamen Austausch und die umfassende Unterstützung während meines gesamten Weges ein herzlicher Dank.

Stuttgart, Deutschland  
September 2022

Fabian Christopher Schmid

---

## Danksagung

Im Rahmen des Smart Service Welt II-Förderprogramms wurde das Forschungsprojekt DigitalTWIN durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert. Vielen Dank für die Unterstützung des Fördergebers sowie für die Zusammenarbeit mit dem DLR-Projekträger und dem VDI/VDE IT als Begleitforschung der Smart Service Welten.

Der Dank gilt darüber hinaus den Projektpartnern und Mitarbeitern im Konsortium: se commerce GmbH, Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, Telegärtner Karl Gärtner GmbH, Carl Zeiss 3D Automation GmbH, planen-bauen 4.0, Werner Sobek AG.

Ein besonderer Dank gilt der seele Unternehmensgruppe, die mit der Möglichkeit zur Initiative des Forschungsprojektes, mit dem Forschungsprojekt selbst und mit der Bereitstellung von Ergebnissen wesentlich zur Vervollständigung der Buchidee durch Praxisbeispiele beigetragen hat.



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung und Methodik	3
1.3	Inhaltsübersicht	4
<b>2</b>	<b>Katalysator Digitalisierung</b>	7
2.1	Globalisierung und Ökozentriertheit	7
2.2	Industrialisierung und Wirtschaftshandeln	17
2.3	Digitalisierung und Gesellschaftshandeln	28
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Digitalisierung</b>	37
3.1	Daten, Informationen und Wissen	37
3.2	Strukturiertheit und Unstrukturiertheit	40
3.3	Qualität und deren Quantifizierung	43
3.4	Informationsmanagement und Systembeschreibungen	46
3.5	Informations- und Kommunikationstechnik	49
3.6	IT-Infrastruktur und IT-Architektur	53
3.7	Diensteentwicklung und Nutzerorientierung	59
<b>4</b>	<b>Digitale Transformation des Bauschaffens</b>	61
4.1	Baukunst, Bautechnik und Bauwirtschaft	61
4.2	Digitalisierung entlang des Gebäudelebenszyklus	67
4.3	Digitalisierung der Planung	74
4.4	Digitalisierung im Projektmanagement	80
4.5	Digitalisierung in der Ausführung	85
4.6	Digitalisierung im Betrieb	90
4.7	Komplexität mit digitalen Ansätzen bewältigen	95

---

<b>5 Individualisierter Einsatz durchgängiger IT-Lösungen im Bauwesen</b> .....	99
5.1 Cloud Computing-Technologien .....	99
5.2 Cloud Computing in Industrie, IT und bei KMUs.....	103
5.3 Herausforderungen für das Bauschaffen .....	110
5.4 Voraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz .....	117
<b>6 Anwendungsfälle und exemplarische Implementierung</b> .....	125
6.1 Plattformtechnologien für wechselnde Anwendungsfälle.....	125
6.2 Entwurf und Planung .....	128
6.3 Datenerhebung im Feld, bei Herstellung und Montage .....	133
6.4 Gebäudebetrieb.....	146
6.5 Komplette Vernetzung .....	150
6.6 Bewertung und Einordnung .....	153
<b>7 Individuelle Kompetenzen und deren Anwendung</b> .....	159
7.1 Daten sammeln und auswerten .....	159
7.2 Prozesse verstehen und verändern.....	162
7.3 Systeme vernetzen und Kern-Know-how schützen.....	165
7.4 Transformation gestalten .....	169
7.5 Analytisches und interdisziplinäres Denken .....	172
<b>8 Fazit</b> .....	175
8.1 Ökologische, digitale und hybride Vielfalt.....	175
8.2 Überwindung von Ressourcenknappheit in drei Dimensionen .....	179
8.3 Involviertheit und Offenheit .....	181
<b>Begriffsbedeutung</b> .....	183
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	195
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	205

---

## Abkürzungen

AIA	Auftraggeber-Informationen-Anforderung
API	Application Programming Interface
Apache Kafka	Freie Software zur Verarbeitung von Datenströmen
Apache Spark	Open-Source-Framework für Cluster Computing
AR	Augmented Reality
ARM	Mikroprozessor-Design
AWS	Amazon Web Services
B2B	Business to Business
BaaS	Backend as a Service
BACnet	Building Automation and Control Network
BAM	Building Assembly Modeling
BCF	BIM Collaboration Format
BI	Business Intelligence
BIM	Building Information Modeling
BOOM	Building Optimize Operations Modeling
BPMN	Business Process Model and Notation
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CAD	Computer-aided design (rechnergestütztes Konstruieren)
CAE	Computer-aided engineering (rechnergestützte Entwicklung)
CAFM RING	Verband für die Digitalisierung im Immobilienbetrieb
CAM	Computer-aided manufacturing (rechnerunterstützte Fertigung)
CCSA	China Communication Standards Association
CDO	Chief Data Officer
CNA	Cloud Native Apps
CRISP-DM	Cross Industry Standard Process for Data Mining
CRM	Customer Relationship Management (Kundenbeziehungsmanagement)
DDD	Domain Driven Design
DigitalTWIN	Forschungsprojekt Digital Tools and Workflow INtegration for Building Lifecycles

---

DSM	Design Structure Matrix
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EC	Eurocode
EAI	Enterprise Application Integration
EIB	Europäischer Installationsbus
EIT	elektronische Informationstechnik
ERP	Enterprise Resource Planning
ESP32	32bit Microcontrollerfamilie von Espressif
eTASK	eTASK Immobilien Software GmbH
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FaaS	Function as a Service
FabOS	Forschungsprojekt zu einem offenen, verteilten, echtzeitfähigen und sicheren Betriebssystem für die Produktion
FCC	Federal Communications Commission
FTP	File Transport Protocol
GbE	Gigabit Ethernet
GCE	Google Container Engine
Grafana	Open Source Datenvisualisierungsdienst
GUID	Global Unique Identifier
HHI	Fraunhofer Heinrich Hertz Institut
HiCAD	2D-/3D-CAD-System
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP/HTTPS	Hypertext Transfer Protocol/Hypertext Transfer Protocol Secure
IaaS	Infrastructure as a Service
ICE	Integrated Concurrent Engineering
ICQ	Instant-Messaging-Dienst
ID	Identifier
IEC	International Electrotechnical Commission
IFC	Industry Foundation Class
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
IIC	Industrial Internet Consortium
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
InfluxDB	Open Source-Datenbanksystem insbesondere für Zeitreihen
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
ISOshade®	Fassadenprodukt der Firma seele
IT	Informationstechnik
ITU	International Telecommunication Union
JSON	Java Script Object Notation
Jupyter	Open-Source-Softwareprodukt für interaktive wissenschaftliche Datenauswertung und wissenschaftliche Berechnungen

---

KI	Künstliche Intelligenz
KMDL	Knowledge Modeling and Description Language
KMU	kleinere und mittlere Unternehmen
KNX-Bus	Feldbus zur Gebäudeautomation
KVM	Kernel-based Virtual Machine
LAN	Local Area Network
LoD	Level of Detail
LON	Local Operating Network
LTE	Long Term Evolution (Mobilfunk-Standard)
LXC	Linux Container: Verfahren zur Virtualisierung
LXD	Linux System-Container Manager: Werkzeug zur Administration von VMs und System-Containern
MAN	Metro Area Network
MariaDB	Freies, relationales Datenbankmanagementsystem
MEAN	Technologie-Stack zur Entwicklung von Progressive Web Apps: MongoDB, Express.js, AngularJS, Node.js
MPLS	Multiprotocol Label Switching
ModBus	Kommunikationsprotokoll
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MR	Mixed Reality
MySQL	Freies, relationales Datenbankmanagementsystem
NFV	Networks Functions Virtualization
NIST	National Institute of Standards and Technology
NodeRED	Open Source-Entwicklungswerkzeug für IoT-Anwendungen
NoSQL	Not only Structured Query Language
OLTP	Online-Transaction-Processing
OPC	Open Platform Communications
OPC UA	OPC Unified Architecture
OSI	Open Systems Interconnection
PaaS	Platform as a Service
PC	Personal Computing
PDM	Produktdatenmanagement
PHP	Hypertext Preprocessor
PKS	Pivotal Container Service
PLY	Polygon File Format
PostgresSQL	Freies, objektrelationales Datenbankmanagementsystem
QR	Quick Response
REST	Representational State Transfer
REST-API	Programmierschnittstelle nach REST-Konventionen
Rhino	Software für die computergestützte 3D-Modellierung
RFI	Request for Information
SaaS	Software as a Service

SDN	Software-Defined Networking
SOA	serviceorientierte Architektur
SOAP	Simple Object Access Protocol
SQL	Structured Query Language
SSL	Secure Sockets Layer
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
UML	Unified Modeling Language
Unity	Laufzeit- und Entwicklungsumgebung für Spiele (Spiel-Engine)
VM	virtuelle Maschine
VR	Virtual Reality
W3C	World Wide Web Consortium
WAN	Wide Area Networks
WFM	Workflow-Management
WS	Web Services
WWW	World Wide Web
XaaS	Everything as a Service
XDK	Cross Domain Development Kit
XR	Extended Reality

---

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Kondratieff-Zyklen, kontinuierliches Wachstum und Konjunktur-Zyklen .....	9
Abb. 2.2	Modelle zur Strukturierung von Nachhaltigkeit .....	13
Abb. 2.3	Kreislaufmodelle mit ökologischem und technologischem Zirkel .....	15
Abb. 2.4	Relevanz der unterschiedlichen Sektoren .....	21
Abb. 2.5	Exemplarische Struktur von IT-Systemen in Unternehmen .....	24
Abb. 2.6	Analoge, digitale und hybride Welten .....	28
Abb. 3.1	Daten, Informationen und Wissen .....	39
Abb. 3.2	Erscheinungsformen von Daten .....	42
Abb. 3.3	Daten- und Informationsqualität .....	45
Abb. 3.4	Ebenen nach dem ISO/OSI-Referenzmodell .....	51
Abb. 3.5	IT-Architektur: Ebenen, Komponenten und Abläufe .....	55
Abb. 3.6	Referenzarchitekturmodelle für Smart Grid, Industrie 4.0 und digitales Bauschaffen .....	57
Abb. 4.1	Bauschaffen und Bauwesen .....	66
Abb. 4.2	Informationsfluss an der Schnittstelle Planung-Ausführung .....	86
Abb. 4.3	Entwicklungsschritte bei der Automatisierung und Vernetzung von Gebäudetechnik .....	91
Abb. 6.1	Darstellung des gesamten Prozesses in DigitalTWIN mit den Rollen und Schnittstellen für die unterschiedlichen Phasen eines Gebäudes .....	126
Abb. 6.2	App und Einbettung im scaleIT-Plattformkonzept .....	128
Abb. 6.3	Bisheriger Datenaustausch im Verlauf von Bauprojekten .....	129
Abb. 6.4	Ebenen einer durchgängigen und offenen Cloud Computing-Architektur .....	130

Abb. 6.5	Digital durchgängiger Datenaustausch in Bauprojekten .....	132
Abb. 6.6	Gleichzeitige Bearbeitung der Gebäudedatenmodelle .....	133
Abb. 6.7	IKT-Infrastruktur für Baustellenszenarien .....	137
Abb. 6.8	MR-Visualisierung von Daten zur Antenneninfrastruktur .....	139
Abb. 6.9	Ebenenmodell der Fertigungsautomatisierung .....	140
Abb. 6.10	Vernetzte Fertigungsautomatisierung .....	140
Abb. 6.11	Zugänglichkeitsprüfung in einer VR-Umgebung .....	142
Abb. 6.12	Plattformeinsatz auf der Baustelle .....	142
Abb. 6.13	Prozessablauf Stahlknotenmontage mit AR-Unterstützung .....	143
Abb. 6.14	Positionierung eines Stahlknotens mit MR-Unterstützung .....	144
Abb. 6.15	Remote-Access zwischen Baustelle und VR-Umgebung .....	144
Abb. 6.16	Plattformeinsatz für den Gebäudebetrieb .....	146
Abb. 6.17	Monitoring und Wartungsunterstützung über Workstations, Tablets und AR-Szene .....	147
Abb. 6.18	Plattformszenarien für den Modelldatenabgleich mit Laserscandaten .....	149
Abb. 6.19	Gesamtarchitektur für den vernetzten Daten- und Diensteaustausch entlang von Gebäudelebenszyklen .....	153
Abb. 6.20	Informationsaufbau und -verlust im Projektverlauf .....	155
Abb. 6.21	Anwendung von Eigenschaftsfrüherkennung .....	156
Abb. 6.22	Vernetzung aller und Reduzierung auf wesentliche Informationen .....	156
Abb. 6.23	Erhalt von Änderungsmöglichkeiten und Reduktion von Änderungskosten durch digitale und hybride Ansätze .....	157
Abb. 7.1	Komponenten des Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) .....	160
Abb. 7.2	Data Science-Stack .....	160
Abb. 7.3	Arbeit und Vernetzung mittels EventTracker-Dienst .....	164
Abb. 7.4	EventTracker-Front End für das Projektmanagement .....	165
Abb. 7.5	Vernetzung von Hardware- und Softwarekomponenten .....	166
Abb. 7.6	Domänenmodell, erstellt zur Beschreibung der Dokumentation bei Schweißaufträgen .....	167
Abb. 7.7	Produktivitäts- und Qualitätssteigerung durch standardisierte Infrastruktur und Servicemodelle .....	171



## Zusammenfassung

Das Bauschaffen ist mit vielfältigen und voneinander abhängigen Fragestellungen konfrontiert, die aktuell durch die globalen Auswirkungen sowie durch Einwirkungen aus den Folgen des Klimawandels geprägt und durch die zunehmende Themenvernetzung nicht mehr beherrschbar sind. Mit der Digitalisierung erscheint es möglich, solche komplexe Zusammenhänge und große Datenmengen besser administrieren und verständlicher nutzen zu können. Allerdings scheitert dies im Bauwesen an vielen Stellen. Das Buch fasst Randbedingungen, Technologien, deren Anwendung und Untersuchungsergebnisse von realisierten Beispielen zusammen. Kap. 1 gibt einen Überblick zu den Herausforderungen und zeigt die Zielsetzungen, die Erarbeitung der Inhalte und den Aufbau des Buches auf.

## 1.1 Problemstellung

Die Herausforderungen des globalen Bauschaffens in den kommenden Jahrzehnten liegen in der Entwicklung und Errichtung von Gebäuden, Bauteilen und Infrastrukturen, die den klimatischen Veränderungen gerecht werden und die positiven Einfluss auf Lebensräume und das gesamte Ökosystem haben.

Die Bedeutung des Bauschaffens auf die globalen Emissionen, den globalen Ressourcenverbrauch und das globale Müllaufkommen ist enorm. Gleichzeitig besteht mit dem erforderlichen Umbau aufgrund der zunehmenden Gefahren durch den Klimawandel und durch die weiter steigende Weltbevölkerung die Notwendigkeit, das Bauschaffen vom

größten Emittenten zum wichtigsten Handlungsfeld für funktionierende Ökosysteme umzuwandeln. Der Einfluss der Bauaktivitäten auf lokale, regionale und globale Ökosysteme ist aufgrund der großen Massen und der weltweit parallel stattfindenden Veränderungen hoch. Würden diese Veränderungen positiven Einfluss auf die Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre, auf die Artenvielfalt und die Schaffung neuer Biosphären und die Vergrößerung von zusammenhängenden Ökosystemen nehmen, könnten Skalierungseffekte gehoben werden.

Es benötigt einen viel demütigeren Umgang mit Ressourcen: Im Privaten wie im Beruflichen. Doch welche Maßnahme ist richtig, welche falsch? Mit diesen epocheprägenden Einflüssen sind Aufgaben verbunden, die nicht allein durch Analyse und Regelwerke gelöst werden können. Das Handeln der Planer, Designer, Entwickler und Forscher ist beim Lösen dieser Aufgaben mit der Komplexität der Prozesse, den multidimensionalen Wirkebenen von Mitteln und Maßnahmen sowie den Interessen der unterschiedlichen Akteure konfrontiert (Lindemann, 2009; Schmid, 2015). Angemessene Lösungen, die den unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden, sind selbst komplexe Systeme mit vernetzten Wirkweisen. Solche Lösungen werden zudem je nach Perspektive und je nach Situation unterschiedlich bewertet (Schönwandt et al., 2013).

Solche komplexen Fragestellungen lassen sich ohne Systemverständnis und digitale Datenverarbeitung nicht angemessen lösen. Digitale Werkzeuge können beim Entwurfs- und Planungshandeln, bei Bau, Betrieb und Umnutzung unterstützen, Aktivitäten beschleunigen und Maßnahmen optimieren. Dennoch gelingt es bisher nicht auch nur annähernd die Vorteile für eine Produktivitätssteigerung der Branche oder für den Bau umfassend bewertbarer Lösungen zu nutzen. Selbst bei den ureigenen gesamtheitlichen Fragestellungen der Gebäudeplanung ist die Realisierung eines durchgängigen Daten-, Informations- und Wissensmanagements, das die relevanten Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereitstellt, nicht absehbar. Dies gelingt, wie die Erarbeitung gesamtheitlicher Antworten durch das Entwerfen, Entwickeln und Gestalten, bisher nur teil- oder phasenweise.

Zum Umgang mit komplexen Systemzusammenhängen und zur Etablierung von positiv und nachvollziehbar wirkenden Maßnahmen des Bauschaffens wurden in der Wissenschaft und den beteiligten Industrien unterschiedliche Werkzeuge, Modelle und Beispiele erarbeitet. Um konkret in Projekten lösungsorientiert gestalten und entwickeln zu können sowie mittel- und langfristig zu einer übergeordneten, kompatiblen und durchgängigen Informationsvernetzung beitragen zu können, sind Wissensaufbau, Austausch und strategische Entscheidungen die Basis für eine erfolgreiche Anwendung.

Kenntnisse und Erfahrungen aus den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), der Analytik und Gestaltung sowie aus den Anwendungsdomänen der Industrie, des Handwerks und des Bauwesens können allgemein helfen, die gesamtheitliche Veränderung des Bauschaffens durch digitale Lösungen in Einklang mit den ökologischen Rand- und Lebensbedingungen zu bringen.

## 1.2 Zielsetzung und Methodik

Das vorliegende Buch gibt Planern, Ingenieuren, Handwerkern und Entscheidungsträgern einen Überblick über die relevanten, zusammenwirkenden Themenbereiche und dient als Leitfaden für das digitale Bauschaffen.

- Grundlegende Begriffe und Zusammenhänge werden beschrieben und die Digitalisierung als Katalysator der Industrialisierung und aktueller gesellschaftlicher Veränderungen eingeordnet.
- Der Stand der digitalen Transformation im Bauwesen als kleinteilig strukturierter Markt mit globaler Auswirkung wird analysiert.
- Die modulare und durchgängige Anwendung moderner IT-Infrastruktur im Bauwesen wird gezeigt.
- Individuelle Kompetenzen werden beschrieben und deren Relevanz für die handelnden Akteure verdeutlicht.
- Die Vorteile eines offenen und dennoch sicheren Daten- und Diensteaustauschs für die Stadtentwicklung, das Planungswesen und die Gesellschaft auf europäischer und globaler Ebene werden skizziert.

Das Buch verfolgt dabei vier Ziele:

- Orientierung, warum und wie digitales Bauschaffen erforderlich ist.
- Grundverständnis zu digitalen Technologien mit praxisnahen Beispielen und Verweisen zu weiterführender Literatur.
- Aufzeigen notwendiger Entwicklungen, um Informations- und Kommunikationsinfrastruktur hinsichtlich Verfügbarkeit, Skalierbarkeit und Sicherheit eigenbestimmt in Wirtschaft und Gesellschaft einsetzen zu können.
- Individuelle Kompetenzen zusammenfassen, die den Einstieg und die Handlungsfähigkeit in vernetzten, branchenübergreifenden Daten- und Dienstinfrastrukturen ermöglichen.

Die Inhalte wurden aus Fragestellungen in internationalen Bauprojekten, aus Forschungsprojekten mit Schwerpunkt der digitalen Vernetzung im Bauwesen und zur digitalen Fertigung erarbeitet. Die beteiligten Fachdisziplinen bei den Demo-, Software- und Bauprojekten waren aus den Bereichen Architektur, Ingenieurwesen, Kommunikationstechnik und Informatik.

Bei den Forschungsprojekten stand die Praxistauglichkeit und der Einsatz von zumindest Teilen der Ergebnisse bei realen Bauprojekten während den Projektlaufzeiten im Fokus. Dabei wurden technische und methodische Entwicklungen weitergebracht, kombiniert, getestet und evaluiert. Dies betrifft die konkrete Entwicklung von Sensor-

Aktor-Systemen und cyber-physischen Komponenten für den Fassadenbau und die vernetzte Fertigung, Entwicklung von Plattformtechnologien für unterschiedliche Hardwareumgebungen sowie die Implementierung in klaren Anwendungsfällen mit zentral organisierter IT-Infrastruktur bis hin zu hochgradig komplexen, dezentral organisierten Cluster-Infrastrukturen.

Auf der soziotechnischen Ebene wurden Planungsmethoden, Interaktionsmethoden sowie Transformationsprozesse untersucht und in der Praxis begleitet und umgesetzt.

Das Buch fasst damit drei inhaltliche Schwerpunkte zusammen:

- Infrastruktur als Grundlage der Digitalisierung
- Sinnvolle Prozesse als Wegbereiter der Digitalisierung
- Systemintegration und Systemverständnis als wesentliche Herausforderung bei der Nutzung und Weiterentwicklung in der digitalen und realen Welt

Drei übergeordnete strategische Schwerpunkte begleiten die theoretischen und anwendungsbezogenen Gedanken:

- Daten- und Informationssicherheit
- Fertigungs- und Umsetzungsmöglichkeiten
- Systemdenken

---

### 1.3 Inhaltsübersicht

**Kap. 1** gibt einen Überblick zum Inhalt des Buches.

In **Kap. 2** wird die Rolle der Digitalisierung in Bezug auf das globale Wirtschaftshandeln und die industrielle Entwicklung thematisiert. Die dezentrale Vernetzung und das Internet als Medium verändern Wirtschaft und Gesellschaft. Digitalisierung wirkt auf allen Ebenen wie ein Katalysator. Positive Entwicklungsmöglichkeiten stehen Umbrüchen und Veränderungen entgegen, mit denen in den unterschiedlichen Gesellschaftssystemen entsprechend umgegangen wird. Die allgegenwärtige Vernetzung, die globalisierten Wertschöpfungsketten und die Konkurrenz der unterschiedlichen Wirtschafts- und Gesellschaftssysteme führt zu unkalkulierbaren Entwicklungen zu Beginn des digitalen Zeitalters. Gleichzeitig sind heute wesentliche Herausforderungen mit der Bewältigung des Bevölkerungswachstums, der Begrenztheit der Ressourcen und der Klimakrise verbunden. Digitalisierung scheint hier ein möglicher Wegbereiter hin zu transparenten und angemessenen Lösungen zu sein. Doch ob es ausreicht, die Technologien schnell genug und in vorteilhafter Weise für eine gesamtheitliche, globale Entwicklung zu nutzen, ist offen.

**Kap. 3** gibt einen Überblick zu den relevanten Begriffen, Technologien und deren Anwendung. Zunächst werden Daten, Informationen und Wissen thematisiert, da dies sowohl inhaltlich für die Anwendungsdomänen als auch für die zugrundeliegenden Technologien einer digital vernetzten Arbeitsweise von Bedeutung ist. Dem Informationsmanagement

kommt wesentliche Bedeutung zur Beherrschung komplexer Sachverhalte zu. Gleichzeitig sind inzwischen durch die allgegenwärtige Vernetzung unkalkulierbare Abhängigkeiten gegeben, die ein flexibles, angepasstes Handeln erfordern. Der Umgang mit vorher definierten Abhängigkeiten und mit unkalkulierbaren Sachverhalten wird anhand von strukturierter und unstrukturierter Datenverarbeitung vertieft. Neben der Verarbeitbarkeit spielt die Qualität und Quantifizierbarkeit von Daten und Informationen eine zunehmend wichtige Rolle. Digitale Systeme leben vom Ausbau der Automatisierung. Um dies nicht nur auf Ebene der Zeichen und Daten, sondern auf höheren abstrakten Ebenen ebenfalls umsetzen zu können, sind Modelle und Systembeschreibungen relevant. Die damit mögliche, automatisierte Übersetzung in niedrigere abstrakte Ebenen funktioniert bereits bei Programmiersprachen mit höheren Sprachen und Modellsprachen. Auch in der Nachrichtentechnik und der Kommunikationsinfrastruktur sind Automatisierungen durch die Virtualisierung möglich. Beide Bereiche korrelieren und wachsen zunehmend im Umfeld des Cloud Computing zusammen. Dies bildet eine neue, hochgradig automatisierbare und konfigurierbare IT-Infrastruktur mit umfassenderen Möglichkeiten einer dezidierten Anpassung an die Anforderungen der Nutzer und hinsichtlich eines effektiven Betriebs. Damit verbunden ist die Möglichkeit, in kleinteilig strukturierten Märkten passgenauere Lösungen realisieren und die Anwender direkt in den Entwicklungs- und Gestaltungsprozess der IT-Architektur einbinden zu können.

**Kap. 4** vertieft die Randbedingungen zur digitalen Transformation des Bauschaffens. Das Bauschaffen ist durch seine Marktstruktur hinsichtlich der digitalen Transformation eine interessante Anwendungsdomäne, bei der sich zeigt, ob eine Durchdringung digitaler Technologien mit positiven Auswirkungen realisiert werden kann. Gleichzeitig ist das globale Bauschaffen durch die Einflüsse auf das Klima ein wesentliches Handlungsfeld bezüglich zukünftiger Ressourcen- und Energienutzung. Hinzu kommt, dass die gebaute Umwelt dem Menschen die Infrastruktur bereitstellt, die vor Wetter- und Klimaereignissen schützt, den Wohlstand sichert und das moderne gesellschaftliche Zusammenleben ermöglicht. Nach einer Strukturierung und Einordnung der Baukunst, Bautechnik und Bauwirtschaft werden die gesamtheitlichen Zusammenhänge auf Basis von Gebäudelebenszyklen beschrieben. Vertiefend werden die heutige Situation der digitalen Transformation in den Bereichen Planung, Projektmanagement, Bauausführung und Betrieb zusammengefasst und wesentliche Ursachen für die zurückhaltende Industrialisierung, Digitalisierung und ausbleibende Produktivitätssteigerung identifiziert. Abschließend werden die Eigenschaften der Cloud Computing-Technologien sowie ihre Anwendung in Bezug zueinander gesetzt. Cloud Computing ist eine Möglichkeit, digitale Ansätze in kleinteilig strukturierte Märkte zu bringen und bei der richtigen Anwendung bei der Bewältigung komplexer Zusammenhänge des Bauschaffens zu helfen.

In **Kap. 5** werden Cloud Computing-Technologien und ihre Bereitstellungsmöglichkeiten beschrieben. Die Voraussetzungen für die Anwendung bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) sowie im Bauschaffen werden zusammengefasst, um damit Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz der Technologien abzuleiten. Darauf aufbauend wurden Technologien und Methoden weiterentwickelt.