

Diploma Thesis

**Control tools for digital value chains  
Model-based project management in planning,  
construction operation and use**

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of  
Diplom-Ingenieur  
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

---

Diplomarbeit

**Steuerungstools für digitale Wertschöpfungsketten  
Modellbasiertes Projektmanagement in Planung,  
Baubetrieb und Nutzung**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplom-Ingenieurs  
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Capan Cebe, BSc**

Matr.Nr.: 01325447

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Goger Gerald**

Hon.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Wilhelm Reismann**

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement  
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13/234-1, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Februar 2019

---

# Danksagung

Ohne die Unterstützung und den Zuspruch verschiedener Menschen wäre es mir nicht möglich gewesen, diese Diplomarbeit Anfang des Jahres 2019 erfolgreich zu Ende zu bringen. Daher will ich an dieser Stelle all jenen danken, die mich während meiner Studienzeit und während der Ausarbeitung dieser Diplomarbeit motiviert, unterstützt und begleitet haben.

An erster Stelle möchte ich meinen Eltern und meiner lieben Partnerin danken, die mir überhaupt ermöglicht haben, mein Studium zu absolvieren. Ich konnte mich immer auf ihre Unterstützung verlassen und auf ihren Rückhalt zählen, wofür ich sehr dankbar bin.

Weiterhin danke ich allen Interview- und Gesprächspartnern, die sich viel Zeit für alle meine Fragen genommen haben. Ohne die über zwei Wochen geführten Interviews wäre es nicht möglich gewesen, zu den in dieser Arbeit erzielten Ergebnissen zu gelangen.

Bedanken will ich mich bei Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Goger Gerald für die Bereitstellung des Themas. Gedankt sei ebenso meinen beiden Betreuern Hon. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wilhelm Reismann und Dipl.-Ing. Marco Huymajer. Sie haben mir bei Fragen und Problemen immer weiterhelfen können und mir in so manchen Momenten die richtigen Tipps und Hinweise gegeben. Vielen Dank auch all jenen, die interessiert und geduldig meine Texte Korrektur gelesen haben. Sie haben mir mit zahlreichen wertvollen Ratschlägen geholfen, Fehler und Unklarheiten zu vermeiden.

Abschließend möchte ich noch all meinen Freunden und Studienkollegen danken, die mich während meiner Studienzeit begleitet haben. Ohne sie wäre mein Studium bei weitem nicht so lustig, abwechslungsreich und erfolgreich gewesen.

# Kurzfassung

Building Information Modeling (BIM) hat in den letzten Jahren ein enormes Ausmaß an wissenschaftlicher Forschung und Entwicklung erfahren, was sich in der Vielzahl von Publikationen und Produktneuheiten in diesem Bereich widerspiegelt. Neben den Modellen zur Prozessmodellierung und zum Aufbau und Austausch von digitalen Kommunikationselementen in der Planung gewinnen geeignete Projektmanagement-Tools zur Steuerung digitaler Wertschöpfungsketten über den gesamten Projektlebenszyklus zunehmend an Bedeutung.

Derzeit ist festzustellen, dass die klassischen Werkzeuge zur Steuerung von Bauprojekten noch nicht mit der Entwicklung von BIM und allen Aspekten von Terminplanung, Kostenplanung, BIM 4D und 5D, Dokumentation, Reporting und Controlling korrelieren. Es geht um die Entwicklung und den Einsatz digitaler PM Tools, die über Planung und Projektsteuerung, in das Baumanagement, den Baubetrieb und die Bauaufsicht übergehen und letztlich in das digitale Facility Management einbinden. Dazu braucht es Prozesse, Daten und Tools, die letztlich den gesamten Lebenszyklus abbilden. Viele Detailprobleme wie Schnittstellen, unterschiedliche Datenformate und BIM Welten spielen in das Thema hinein. Zahlreiche Insellösungen sind derzeit im Entstehen und werden in Pilotprojekten und Musteranwendungen eingesetzt und stoßen jedoch an ihre Grenzen. Auch IFC4 in der heutigen Form ist derzeit noch nicht sehr geeignet, die Probleme der Praxis zu lösen. Andererseits entstehen durch den Zusammenschluss von Softwarehäusern immer mehr international dominierende Systeme. Auch dieser Entwicklungsfaktor mit seinen möglichen Auswirkungen ist zu betrachten.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, anhand von ausgewählten Praxisbeispielen den Stand der Technik und die Praxistauglichkeit der verwendeten Werkzeuge und Prozesse kritisch zu hinterfragen, zu analysieren und in Form von konkreten Fallstudien darzulegen sowie auch zu verallgemeinern.

# Abstract

Building Information Modeling (BIM) has experienced a tremendous amount of scientific research and development in recent years, reflected in the large number of publications and new products in this field. In addition to the models for process modeling and the design and exchange of digital communication elements in planning, suitable PM tools for the control of digital value added chains become increasingly important over the entire project lifecycle.

At present, classical tools for managing construction projects are not yet correlated with the development of BIM and all aspects of scheduling, cost planning, BIM 4D and 5D, documentation, reporting and controlling. It involves the development and use of digital PM tools, which use planning and project control, and then move into construction management, construction and construction supervision and ultimately integrate into digital facility management.

This requires processes, data and tools that ultimately reflect the entire lifecycle. Many detail problems such as interfaces as well as different data formats and BIM worlds (keywords Revit, Autodesk, ArchiCAD, Allplan, Nemetschek, openBIM, closedBIM) play into the topic.

Numerous isolated solutions are currently being developed, used in pilot projects and sample applications and are reaching their limits. Even IFC4 in its current form is currently not yet suitable to solve the problems of the practice.

On the other hand, the merger of software companies is creating more and more internationally dominant systems. Also this development factor with its possible effects is to be considered.

The aim of this diploma thesis is to critically evaluate and analyze the state of the art and the practicability of the used tools and processes on the basis of selected practical examples and to generalize them in the form of concrete case studies.

# Abkürzungsverzeichnis

<b>AG</b>	Auftraggeber
<b>AIA</b>	Auftraggeber Informationsanforderungen
<b>AN</b>	Auftragnehmer
<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>AR</b>	Augmented Reality
<b>AVVA</b>	Ausschreibung, Vergabe, Vertrag und Abrechnung
<b>BAP</b>	BIM Abwicklungsplan
<b>BCF</b>	BIM Collaboration Format
<b>BIM</b>	Building Information Modeling
<b>bS</b>	BuildingSMART
<b>CAD</b>	Computer-Aided Design
<b>CAFM</b>	Computer-Aided Facility Management
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>DXF</b>	Drawing Interchange Format
<b>FM</b>	Facility Management
<b>IAI</b>	International Alliance for Interoperability
<b>IFC</b>	Industry Foundation Classes
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>LoD</b>	Level of Detail

<b>LOD</b>	Level of Development
<b>OHB-BIM</b>	Organisationshandbuch BIM
<b>ÖBA</b>	Örtliche Bauaufsicht
<b>PDF</b>	Portable Document Format
<b>PM</b>	Projektmanagement
<b>TGA</b>	Technische Gebäudeausrüstung
<b>VDI</b>	Verein deutscher Ingenieure
<b>XML</b>	Extensible Markup Language

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1	Motivation . . . . .	9
1.2	Forschungsfragen . . . . .	10
1.3	Zielsetzung der Diplomarbeit . . . . .	11
1.4	Methodik der Diplomarbeit . . . . .	11
1.4.1	Forschungsdesign . . . . .	11
1.4.2	Methoden der Datenerhebung . . . . .	11
1.4.3	Das problemzentrierte Leitfadeninterview . . . . .	12
1.4.4	Leitfadenerstellung . . . . .	13
1.4.5	Durchführung des Interviews . . . . .	14
1.4.6	Auswertung . . . . .	15
1.5	Beschreibung der Zusammenarbeit von TU und Wirtschaft, Wissenschaft und Praxis	16
1.6	Begriffsbestimmungen . . . . .	16
1.7	Genderhinweis . . . . .	21
<b>2</b>	<b>Wertschöpfungskette Planung, Baubetrieb und Nutzung</b>	<b>22</b>
2.1	Bauwirtschaft und die typische Wertschöpfungskette . . . . .	22
2.2	Unterschied zwischen Bau- und Herstellungsindustrie . . . . .	26
2.3	Digitalisierung in Planung, Baubetrieb und Nutzung . . . . .	27
<b>3</b>	<b>PM-Funktionen in den Phasen Planung, Baubetrieb und Nutzung, Bau-PM</b>	<b>29</b>
3.1	Einsatz von EDV-Lösungen im BAU-PM . . . . .	31
3.2	EDV-Anwendungsbereiche in der Projektabwicklung . . . . .	32
3.3	Inputs und Outputs in wesentlichen Projektphasen . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Das digitale Bauprojekt</b>	<b>37</b>
4.1	Laserscan bzw. Bestandserfassung . . . . .	40
4.2	Digitale Ingenieur-Analyse . . . . .	43
4.3	Umbau / Renovierung . . . . .	45
4.4	Digitaler Betrieb . . . . .	45
4.5	Digitale Due Diligence . . . . .	47
4.6	BIM-Modellierung / BIM-Planung . . . . .	47
4.7	Digitales Behördenverfahren . . . . .	50

---

4.8	Digitale Baustelle . . . . .	50
4.9	Übergabe - Übernahme . . . . .	53
4.10	Digitale Bauwirtschaft / AVVA . . . . .	54
4.11	Planung, Prognose, Management, Controlling . . . . .	56
4.12	Benchmarks, Early Involvement . . . . .	57
<b>5</b>	<b>Fall A -Der Weg vom Bestandsobjekt zum BIM-Modell</b>	<b>58</b>
5.1	Bestandserfassung via Laserscan . . . . .	58
5.2	Ziele der Bestandserfassung . . . . .	60
5.3	Hintergründe . . . . .	61
5.4	Terrestrischer Laserscan - TLS . . . . .	62
5.4.1	Geräteauswahl . . . . .	66
5.4.2	Datenaufnahme . . . . .	66
5.5	Software . . . . .	67
5.5.1	Datenaufbereitung . . . . .	67
5.5.2	Datenmanagement . . . . .	69
<b>6</b>	<b>Fall B - Von der BIM-Planung über die digitale Baustelle in den Betrieb</b>	<b>70</b>
6.1	Durchgängige Prozesse . . . . .	70
6.2	Ziele . . . . .	73
6.3	Informationsanforderung . . . . .	73
6.4	Planung . . . . .	74
6.4.1	Common Data Environment . . . . .	74
6.4.2	Softwarefamilien . . . . .	75
6.4.3	BIM 4D und 5D . . . . .	76
6.4.4	Kostenplanung . . . . .	76
6.4.5	BIM und TGA . . . . .	76
6.4.6	BIM und FIM . . . . .	76
6.5	Digitale Baueinreichung . . . . .	77
6.6	AVVA . . . . .	77
6.7	Digitale Baustelle . . . . .	79
6.7.1	Trend 1: Hochauflösende Bestandsaufnahme . . . . .	80
6.7.2	Trend 2: 5D BIM-Planung der nächsten Generation . . . . .	81
6.7.3	Trend 3: Digitale Kollaboration und Mobilität . . . . .	83
6.7.4	Trend 4: Das Internet der Dinge und erweiterte Analysemöglichkeiten . . . . .	84
6.8	Übergabe / Übernahme . . . . .	85
6.9	Nutzung und Betrieb . . . . .	86
6.10	Projektende . . . . .	87
<b>7</b>	<b>Handlungsempfehlungen</b>	<b>88</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>92</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

Zu Beginn dieser Arbeit werden der Inhalt und der Aufbau der Kapitel erläutert. Im Anschluss daran folgen die persönliche Motivation, die Forschungsfrage und die Zielsetzung dieser Diplomarbeit.

### 1.1 Motivation

Stetiger technologischer Fortschritt führt zur laufenden Weiterentwicklung in der Baubranche. Es werden neue Programme entwickelt und Prozesse optimiert. Viele Insellösungen, die jeweils nur einen Teilbereich abdecken, befinden sich in der Entstehung. Diese werden bereits in unterschiedlichen Pilotprojekten und Musteranwendungen eingesetzt und stoßen jedoch sehr schnell an ihren Grenzen.

Aufgrund der Vielzahl an heterogenen Datenquellen, die innerhalb eines Lebenszyklus eines Gebäudes entstehen, wird die Auftrittswahrscheinlichkeit von Informationsverlusten, Datenasymmetrien und die Inkompatibilität der verschiedenen Datenquellen erhöht.

Obwohl mittlerweile klar ist, dass mit einem übergeordneten und systemübergreifenden Tool eine höhere Qualität, Effizienz und Effektivität des Projektmanagement erzielt werden kann, scheinen sich die Verantwortlichen in diesem Bereich noch nicht vollkommen bewusst zu sein, welche Risiken mit einem schlechten Informations- und Datenmanagement einhergehen.

Dieses Problem wird im Zuge der vorliegenden Diplomarbeit aufgegriffen und wissenschaftlich untersucht. Im Anschluss wird anhand der durchgeführten Analyse eine Aussage über eine mögliche Gesamtsystematik im BIM getroffen.

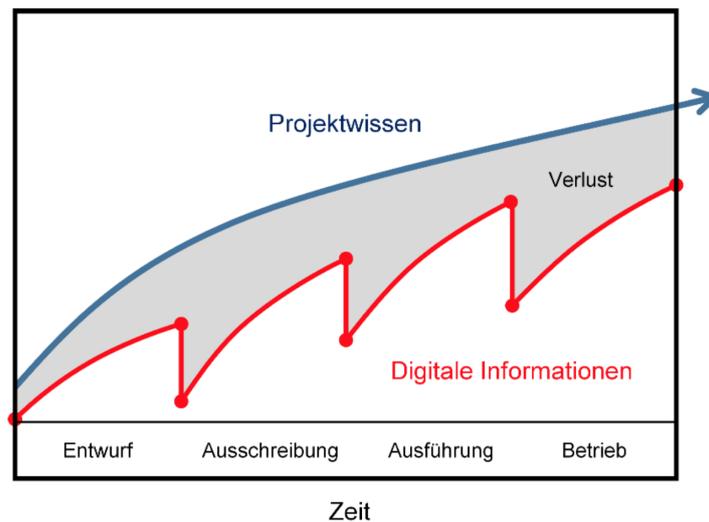


Abb. 1.1: Informationsverlust durch Einsatz von Insellösungen [12]

## 1.2 Forschungsfragen

Das Hauptaugenmerk dieser Diplomarbeit richtet sich daher auf folgende Forschungsfrage:

**Lassen sich aus der Analyse des praktischen Einsatzes bisheriger digitaler Tools und Prozesse konkrete Vorschläge für den künftigen Entwicklungsbedarf ableiten?**

Zur Detaillierung und Erläuterung dienen folgende Zusatzfragen.

1. Ist es grundsätzlich möglich, auf Basis des heutigen Standes von Technik und Praxis ein sinnvolles Gesamtsystem vorhandener und erwünschter Software Applikationen für Bau-PM über den Lebenszyklus zu erarbeiten?
2. Nach welchen Kriterien sind Software-Applikationen zu analysieren und zu bewerten, so dass aus Sicht von Unternehmen in der Praxis technisch-wirtschaftliche Entscheidungen bezüglich Erwerb, Entwicklung und Anwendung getroffen werden können?
3. Was sollen Bauindustrie und Baugewerbe, Planer und Betreiber von der Software-Industrie in einem 3 Jahres-Horizont auf Basis von Punkt 1 und 2 fordern?
4. Mit welchen Daten, Tools und Prozessen ist die immer wieder geforderte Einbindung von Betreiben und Bauen in die Frühphasenentwicklung und -planung, also das Early Involvement sinnvoll möglich?

## 1.3 Zielsetzung der Diplomarbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, anhand von Fallbeispielen einen Überblick über die klassischen Werkzeuge zur Steuerung von Bauprojekten zu schaffen. Dabei sollen die verschiedenen Parameter, die für das Projektmanagement relevant sind, anschaulich und übersichtlich dargestellt werden. Am Ende dieser Arbeit soll es möglich sein, Rückschlüsse auf die zukünftigen Anforderungen zur Entwicklung von übergeordneten, zusammenhängenden Funktionen im Sinne eines digitalen Baus zu ziehen und Potenziale darzustellen.

## 1.4 Methodik der Diplomarbeit

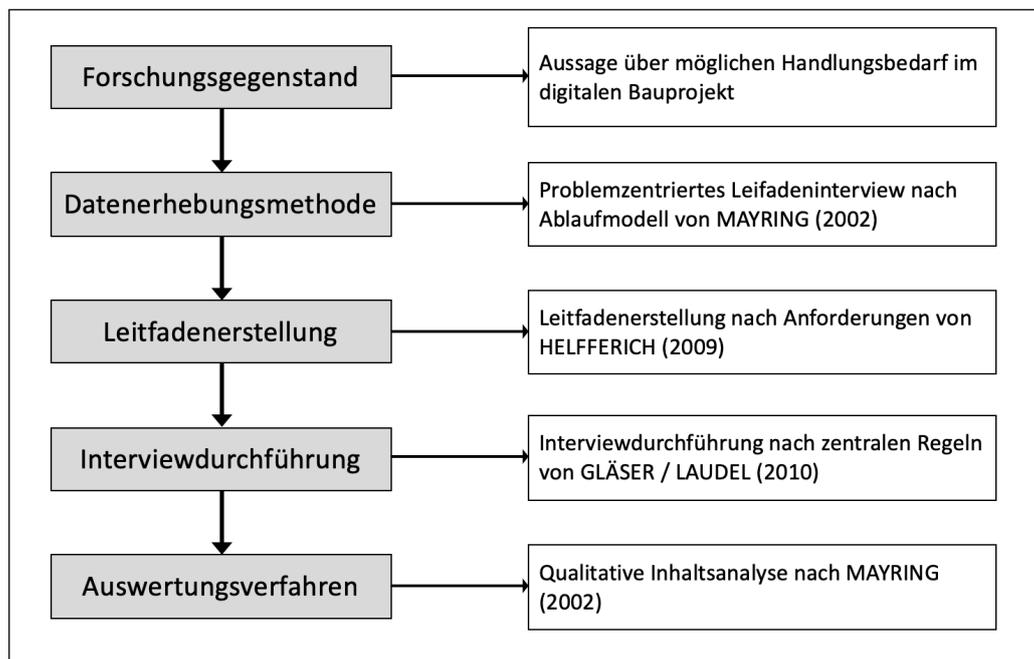
Wissenschaftliches Arbeiten setzt voraus, dem Leser einer Studie bzw. Untersuchung transparent darzustellen, auf welchem Wege und mit welchen Mitteln der Autor zu seinen Ergebnissen gelangt ist. Daher wird in diesem Kapitel der vorliegenden Diplomarbeit die methodische Vorgehensweise zur Untersuchung, Darstellung und Beantwortung der Forschungsfrage vorgestellt. Es werden im Folgenden das gewählte Forschungsdesign zur Informationsgewinnung begründet dargestellt sowie die konkreten Arbeitsschritte einzeln und im Detail erklärt.

### 1.4.1 Forschungsdesign

Jeder Forschungsgegenstand erfordert für seine Untersuchung eine eigene, auf das entsprechende Thema zugeschnittene Methodik. „Das Forschungsdesign unterscheidet sich nach der Art der Problem- und Gegenstandsbenennung, nach der Schwierigkeit des Feldzugangs und nach der Komplexität der zu prüfenden Hypothesen.“[6] Es gilt daher, sorgfältig abzuwägen, mit welcher Herangehensweise sich die besten und größtmöglichen wissenschaftlichen Erkenntnisse für den zu untersuchenden Forschungsgegenstand erzielen lassen. Abbildung 1.2 stellt das gewählte Forschungsdesign zur Informationsgewinnung dieser Arbeit grafisch dar. Anschließend werden die einzelnen Arbeitsschritte ausführlich vorgestellt und begründet.

### 1.4.2 Methoden der Datenerhebung

Die Wahl der Datenerhebungsmethode ist auf eine qualitative Vorgehensweise gefallen. Die benötigten Informationen zur Rekonstruktion der Prozesse um und während eines digitalen Bauprojektes sind am besten von den an Prozesse beteiligten Personen zu bekommen sind. Dabei handelt es sich sowohl um jene Akteure, die im digitalen Bauprojekt engagiert sind, die im digitalen Bauprojekt engagiert sind, die Digitales-Bauprojekt-relevante Positionen bekleiden oder aus sonstigen Gründen als Experten für das Thema „das digitale Bauprojekt“ gelten. Nur diese



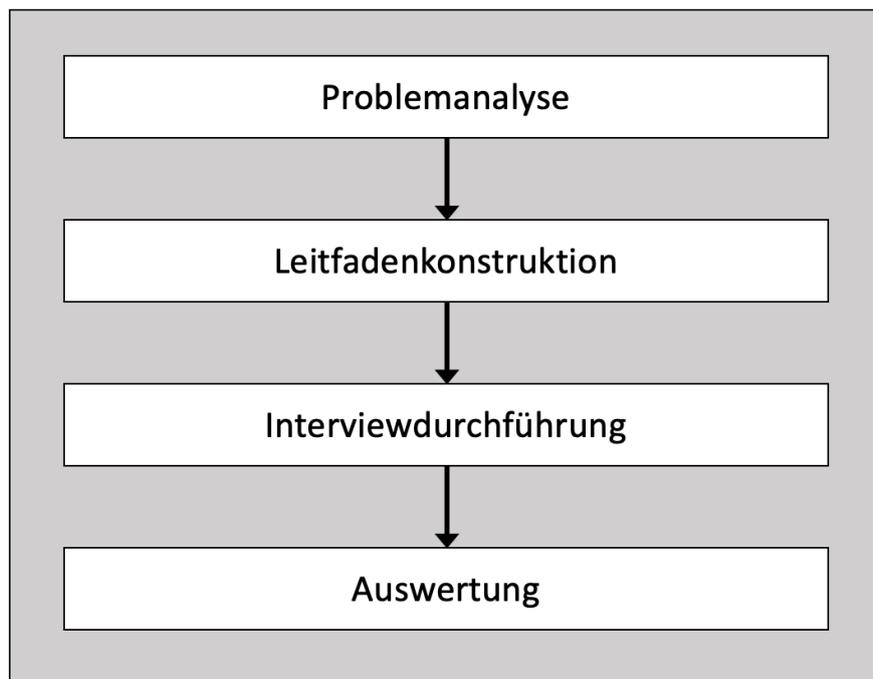
**Abb. 1.2:** Forschungsdesign zur Informationsgewinnung

Gruppen von Experten verfügen über die wichtigen Informationen zur Untersuchung des Forschungsgegenstands. Es liegt daher auf der Hand, die Befragung auf diese Experten auszurichten. Für die Befragungen dieser Experten wurde als Erhebungsinstrument das problemzentrierte Leitfadeninterview gewählt. [41]

### 1.4.3 Das problemzentrierte Leitfadeninterview

Das problemzentrierte Leitfadeninterview ist eine Form der offenen, halbstrukturierten Befragung und lässt „[...] den Befragten möglichst frei zu Wort kommen, um einem offenen Gespräch nahe zu kommen. Es ist aber zentriert auf eine bestimmte Problemstellung, die der Interviewer einführt, auf die er immer wieder zurückkommt. Die Problemstellung wurde vom Interviewer bereits vorher analysiert; er hat bestimmte Aspekte erarbeitet, die in einem Interviewleitfaden zusammengestellt sind und im Gesprächsverlauf von ihm angesprochen werden.“[41, S. 67]

Ein Leitfadeninterview „[...] ist für Untersuchungen mit verschiedenen Erkenntnisinteressen einsetzbar. Für rekonstruierende Untersuchungen sind Leitfadeninterviews das geeignetste Instrument, weil über den Leitfaden sichergestellt werden kann, dass alle für die Rekonstruktion benötigten Informationen erhoben werden.“[21, S. 116] Durch eine solche Vorgehensweise ist es daher möglich, von den lokalen Experten gezielt die notwendigen Informationen zur Rekonstruktion der Prozesse eines digitalen Bauprojekts zu erhalten und damit die Forschungsfrage zu beantworten. In der vorliegenden Diplomarbeit wurde die Untersuchung des Forschungsgegen-



**Abb. 1.3:** Ablaufmodell des problemzentrierten Interviews. Eigene Darstellung nach [41, S. 71]

stands nach MAYRING's Ablaufmodell des problemzentrierten Interviews durchgeführt (Abb. 1.3 ).

Der Schritt der Problemanalyse wird durch die Erarbeitung der Grundlagen zum Thema „Digitales Bauprojekt“ und die Darstellung des Forschungsgegenstands in dem folgenden Kapitel vollzogen. Anhand der Zielstellung dieser Arbeit ist die Wahl des problemzentrierten Leitfadeninterviews als Datenerhebungsmethode zur Operationalisierung des Forschungsgegenstands begründet worden. Im Folgenden werden die weiteren Schritte der methodischen Vorgehensweise dargestellt. Dafür wird die Fallauswahl zur Datenerhebung, also die Auswahl der Interviewpartner, vorgestellt, welche eine wichtige Grundlage für die geeignete Konstruktion des Interviewleitfadens ist. Im weiteren Verlauf werden Durchführung und Aufzeichnung der Interviews beschrieben. Abschließend wird die Vorgehensweise zur Auswertung der in den Interviews gewonnenen Daten vorgestellt.

#### 1.4.4 Leitfadenerstellung

Die Erstellung des Leitfadens für die Interviews mit den ausgewählten Experten, erforderte eine sehr gezielte Vorgehensweise. Dieser Arbeitsschritt ist deshalb für die später zu führenden Interviews von großer Bedeutung, weil er während des Gesprächs mit dem Interviewpartner die „[...] einzige schriftliche Unterstützung ist. Man kann nicht gleichzeitig ein möglichst ungezwungenes Interview führen und dabei in seinen Unterlagen blättern und nach einer Information suchen, die man für das Gespräch noch braucht.“ [21, S. 143] Durch den Leitfaden stellt der Interviewer sicher,

„[...] dass in einer größeren Zahl von Interviews gleichartige Informationen erhoben werden, und dass in jedem Interview alle Informationen erhoben werden, von denen man sich vorher überlegt hat, dass man sie braucht.“[21, S. 143]

Dementsprechend muss ein Interviewleitfaden gewisse Anforderungen erfüllen, die von HELF-FERICH – nach deren Vorgehensweise die Interviewleitfäden der vorliegenden Diplomarbeit entwickelt wurden – unter anderem wie folgt vorgeschlagen werden[30, S. 180]:

- Der Leitfaden muss in seiner Gesamtheit den grundlegenden Prinzipien qualitativer Forschung entsprechen und Offenheit ermöglichen.
- Der Leitfaden darf nicht zu viele, sondern muss eine – gemessen an der geplanten Interviewdauer – realistische Anzahl an Fragen enthalten.
- Der Leitfaden soll übersichtlich und formal einfach zu handhaben sein, um keine Aufmerksamkeit des Interviewenden von der Gesprächssituation abzulenken.

### 1.4.5 Durchführung des Interviews

Im Vorfeld der Interviews war es wichtig, sich mit den allgemeinen Regeln der Interviewführung bei offenen Leitfaden- und Experteninterviews vertraut zu machen. GLÄSER / LAUDEL stellen dazu sieben zentrale Regeln auf, an denen sich die Durchführung der Interviews orientierte.

1. Aktiv zuhören. Das bedeutet, sich auf die Ausführungen des Interviewten zu konzentrieren, ihm zu verstehen geben, dass er verstanden wird und nebenbei einzuschätzen, welche der benötigten Informationen noch fehlen. Zum aktiven Zuhören zählt ebenso die Disziplin, den Interviewpartner nicht zu unterbrechen und auch kurze Pausen zuzulassen, ohne selbst sofort wieder das Wort zu ergreifen.
2. Flexibel fragen. Das bedeutet, dass eine möglichst natürliche Gesprächssituation aufrechterhalten werden soll und die Reihenfolge der Fragen im Leitfaden mögliche Anknüpfungspunkte an andere thematische Aspekte nicht verhindern darf. Zu starres Festhalten am Leitfaden würde womöglich interessante Informationen des Interviewpartners verhindern, auf die er im Gesprächsfluss überleiten würde.
3. Nicht Verstandenes klären. Demzufolge sollte der Interviewer bei unklaren Aussagen nachfragen, um keinen Sachverhalt später falsch zu verstehen.
4. Details erfragen. Damit ist gemeint, bei allgemeinen, vagen oder mehrdeutigen Aussagen nachzufragen und um eine detailliertere Erklärung zu bitten.

5. Kurze und eindeutige Nachfragen stellen. Diese Grundregel, die bereits bei der Formulierung der Fragen im Leitfaden von großer Bedeutung ist, gilt ebenso auch für die spontan gestellten Nachfragen während des Interviews.
6. Stets Kompetenz zeigen. Es ist wichtig dem Interviewten jederzeit das Gefühl zu vermitteln, dass er verstanden wird und dass es sich lohnt, dem Interviewer Informationen über den erfragten Forschungsgegenstand zu geben.
7. Bewertungen vermeiden. Es ist wichtig, dass der Interviewer Bewertungen während des Gesprächsverlaufs vermeidet. Weder negative noch positive Wertungen dürfen den Interviewpartner dazu bringen, sich in seinem Antwortverhalten anzupassen oder Antworten zu geben, wie sie der Interviewer erwartet [21, 175 ff].

Parallel zur Erstellung des Leitfadens fand die Kontaktaufnahme mit den ausgewählten, potentiellen Interviewpartnern statt. Die sechs ausgewählten Experten wurden förmlich per E-Mail angeschrieben. In den E-Mails wurde in angemessener Kürze der Hintergrund des Forschungsvorhabens vorgestellt und um einen Termin gebeten. Mit einigen der späteren Interviewpartner wurde direkt in den Gesprächen am Telefon ein Termin für ein persönliches Interview ausgemacht. Mit einigen anderen angeschriebenen Interviewpartnern wurde ein Termin per E-Mail vereinbart.

Die Aufzeichnung der Interviews fand mit einem Smartphone statt. Zuvor waren alle Gesprächspartner zu Beginn des Interviews gefragt worden, ob sie mit einer digitalen Aufzeichnung einverstanden seien. Ein Interviewpartner verneinte dies, woraufhin vom Verfasser dieser Arbeit ausführliche Notizen des Interviews angefertigt wurden.

#### 1.4.6 Auswertung

Der wichtigste Schritt zur Beantwortung der Forschungsfrage ist schließlich die zielgerichtete Auswertung des in den qualitativen Interviews erhobenen Datenmaterials. Dabei muss nach einer erprobten Methode vorgegangen werden, die im Folgenden erklärt wird.

Hinsichtlich des methodischen Vorgehens besteht nach gängiger wissenschaftlicher Praxis in Abhängigkeit von der Fragestellung die Möglichkeit sowohl mittels einer qualitativen als auch quantitativen Inhaltsanalyse auszuwerten [13, S. 329].

In der vorliegenden Arbeit besteht das Ziel der qualitativen Inhaltsanalyse der Gesprächsprotokolle darin, anhand einzelner, klar strukturierter Themenblöcke eine zusammenfassende Beschreibung der Entwicklung aus Sicht der Experten zu gewinnen.

Durch die Beibehaltung möglichst vieler Originalzitate sollte sichergestellt werden, dass die Ergebnisse ein Höchstmaß an Authentizität sichern.

Die Beurteilung, ob und inwieweit die inhaltsanalytische Auswertung als erkenntnisförderndes Verfahren anzusehen ist, hängt wesentlich von der zu beantwortenden Forschungsfrage und damit von der Gegenstandsangemessenheit des Verfahrens ab. Wird dieses berücksichtigt, ermöglicht die qualitative Inhaltsanalyse eine „sinnvolle, aussagekräftige und methodisch abgesicherte qualitative Forschung“ [41, S. 117]

Nach MAYRING bestehen die folgenden drei Grundformen der qualitativen Inhaltsanalyse, die sich nach Ziel und Vorgehen unterscheiden:[41, 56 ff]

- **Zusammenfassung:** Ziel der inhaltsanalytischen Zusammenfassung ist es, durch Paraphrasierung, Generalisierung und Reduktion den Ausgangstext auf eine überschaubare Kurzversion so weit zu reduzieren, dass nur noch der wesentliche Inhalt erhalten bleibt.
- **Explication:** Die Explication verfolgt das Ziel, unklare Textbestandteile durch Hinzuziehen zusätzlicher Materialien verständlich zu machen.
- **Strukturierung:** Die strukturierende Inhaltsanalyse ordnet und gliedert den Ursprungstext nach festgelegten Kriterien und versucht so, eine Struktur aus dem Material herauszufiltern.

## 1.5 Beschreibung der Zusammenarbeit von TU und Wirtschaft, Wissenschaft und Praxis

Diese Diplomarbeit ist im Zuge einer Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Wien und iC consulenten ZT GmbH verfasst worden.

Die Zusammenarbeit bei Diplomarbeiten bietet die besondere Gelegenheit, Wissenschaft und Praxis zu verknüpfen, anwendungsorientierte Recherche zu betreiben und aktuelle Praxisprobleme zu lösen. Voraussetzung für den Wissenstransfer in die wirtschaftliche Anwendung ist die gegenseitige Entwicklung von entsprechender unternehmerischen und inhaltlichen Kompetenz sowohl auf der Unternehmerseite wie auch auf der Forschungsseite.

## 1.6 Begriffsbestimmungen

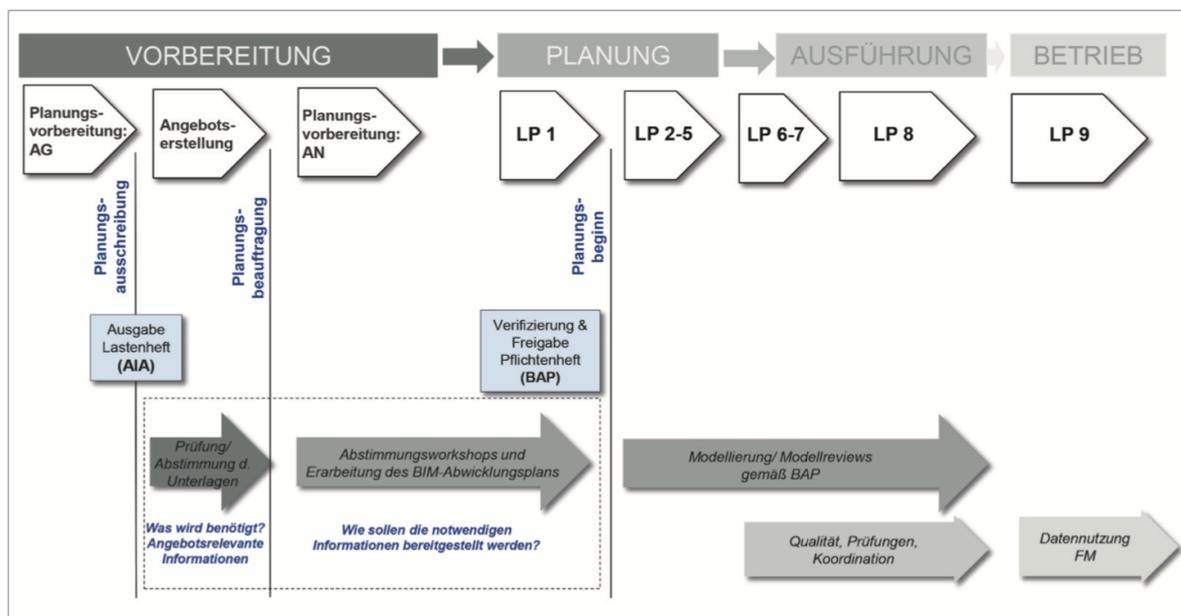
### As-Built-Modell

Das Wort stammt aus der englischen Sprache und bedeutet wörtlich übersetzt „wie-gebaut“. Das As-Built-Modell ist somit ein digitales Gebäudemodell, dessen geometrische Daten und weitere Informationen die tatsächliche erfolgte Bauausführung wiedergeben. Durch die Kombination mit weiteren Daten und Dokumenten dient es als Dokumentation [9].

**AIA - Auftraggeber Informationsanforderungen** Als Auftraggeber-Informationsanforderung wird die konkrete Beschreibung von unternehmens- und projektspezifischen BIM-Vorgaben bezeichnet. Es handelt sich dabei um ein Dokument, in dem festgelegt wird, welche Informationen während der Projektabwicklung und nach deren Abschluss an den Bauherrn weiterzugeben sind. Der Fokus liegt auf der Zieldefinition der Rahmenbedingung und nicht auf deren technischer Umsetzung [3].

Folgende Inhalte werden in der AIA definiert:

- Allgemeine Informationen bzgl. Projekt, Termine usw;
- Organisatorische Strukturen;
- Rollen und Verantwortlichkeiten;



**Abb. 1.4:** Projektphasen mit Einordnung AIA und BAP [3]

### BIM Abwicklungsplan (BAP)

BIM-Abwicklungsplan ist ein vom Projektteam aufgesetztes Dokument, das festlegt, in welcher Weise die Projektbeteiligten welche Projektinformationen zu welcher Projektphase zu liefern haben. Dieses Dokument definiert aufbauend (siehe Abb. 1.5) auf den AIA detailliert die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Projektverantwortlichen und sollte zum Projektstart den Projektteilnehmer zur Verfügung stehen.

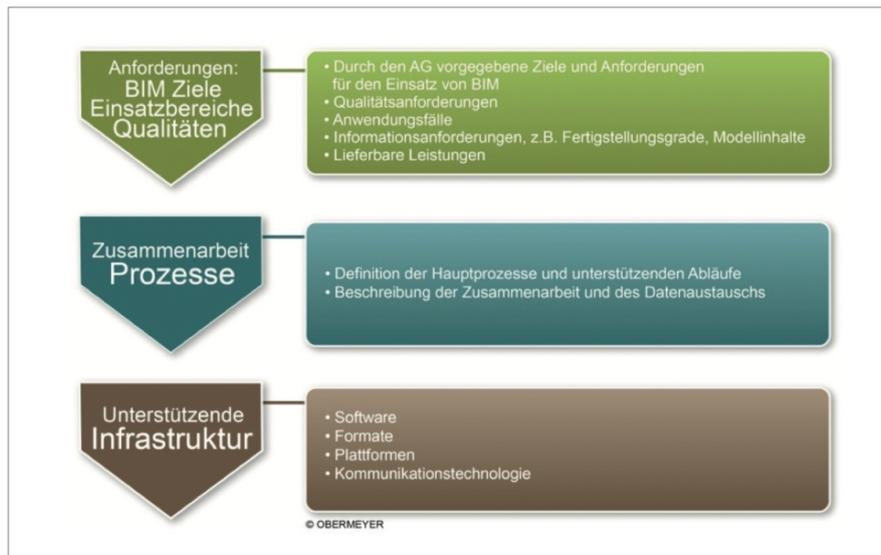


Abb. 1.5: Schema BIM-Abwicklungsplan (BAP) [3, S. 9]

## Building Information Modeling (BIM)

Unter Building Information Modeling wird in der Baubranche eine innovative Arbeitsmethode im Planungs-, Abwicklungs- und Betreiberprozess verstanden, welche auf digitalen Gebäudemodellen basiert. Das Bauwerk wird vor der Realisierung als Modell im Computer gebaut – „build digitally first“ [61]

Sie geht einher mit dem Gedanken eines deutlich verbesserten Datenaustauschs und der dadurch erzielbaren Steigerung der Planungseffizienz durch den Wegfall der aufwändigen und fehleranfälligen Wiedereingabe von Informationen [11].



Abb. 1.6: BIM Kreislauf [12, S. 16]

### openBIM vs. closedBIM

openBIM bezeichnet eine BIM-Methode, die das Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden mittels einer offenen Schnittstelle und offener Standards reibungslos und effizient gestaltet. Als wichtigstes Austauschformat für einen openBIM gilt das IFC-Format, welches den softwareunabhängigen Austausch von Informationen ermöglicht.

closedBIM hingegen setzt voraus, dass alle Projektbeteiligten mit einer einheitlichen vorher definierten Softwarelösung arbeiten und Daten austauschen. Größter Nachteil hierbei ist die eingeschränkte Flexibilität bei der Übergabe von Modellen und Informationen an externen Experten.

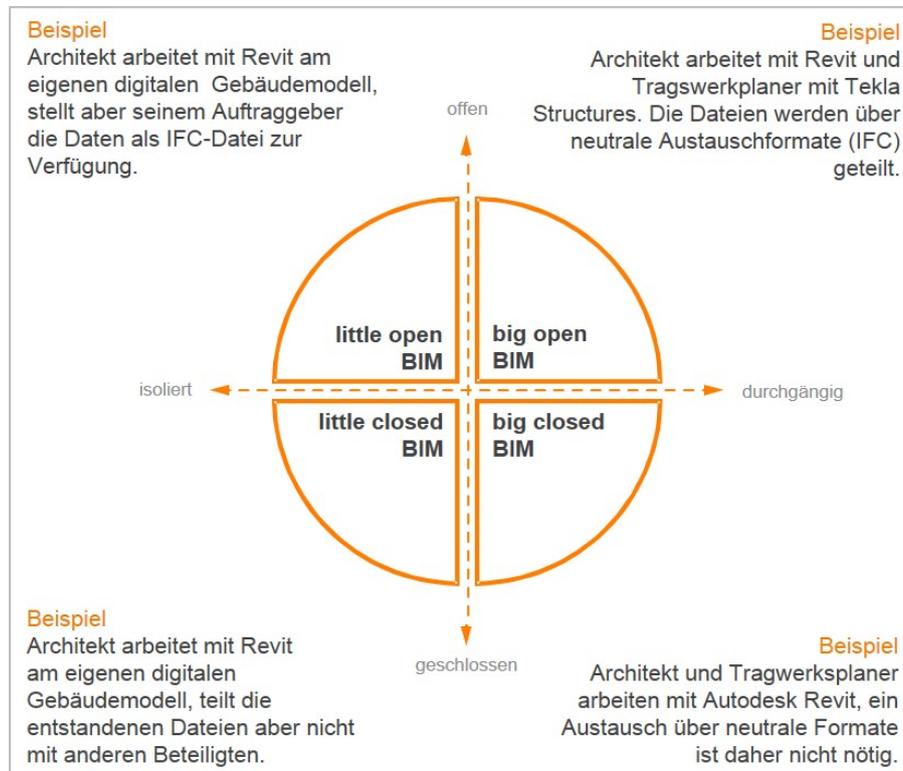
### littleBIM vs. bigBIM

littleBIM beschreibt die Methode des fachspezifischen Arbeitens. Gemeint ist das Nutzen von BIM-Methoden und -Prozessen zu ausschließlich unternehmens- bzw. organisationsinternen Zwecken, z.B. in Ingenieurbüros oder Bauunternehmen. In der Regel wird dabei nur eine Softwarelösung eingesetzt. Diese Insellösung wird in sehr vielen kleinen Unternehmen angewandt.

Im Gegensatz dazu versteht man unter bigBIM die fachübergreifende Zusammenarbeit aller an Planung, Ausführung und Nutzung eines Bauwerks beteiligten Personen unter der Anwendung verschiedener Softwarewerkzeuge. Die eingesetzte Software unterstützt verschiedene Fachdisziplinen und stellt somit eine durchgängige Lösung dar.

Zur besseren Veranschaulichung der Begrifflichkeiten stellt die nachfolgende Grafik 1.7 die Kombination der Implementierungsmöglichkeiten, abhängig von der Durchgängigkeit und der

Offenheit, dar. Es sind insgesamt vier Kombinationen möglich und diese sehen folgendermaßen aus:



**Abb. 1.7:** Die Parameter Durchgängigkeit und Offenheit lassen sich gemeinsam zu 4 BIM-Implementierungsmöglichkeiten kombinieren [50]

### IFC - Industry Foundation Classes

Beim IFC handelt es sich um ein besonderes Datenformat, das insbesondere den verlustfreien Austausch von Bauwerksmodellen ermöglicht, ohne dabei die Daten oder Informationen zu verfälschen. Es ist von buildingSMART international entwickelt worden und ist somit das wichtigste Werkzeug zur Realisierung des openBIM.

Dieses Dateiformat ist ein offenes und neutrales Format, d.h. es wird von keinem einzelnen Softwareanbieter kontrolliert wird. Es wurde mit dem Ziel erstellt, die Interoperabilität zwischen den verschiedenen Anwendungen zu erleichtern

### BIM 3D / 4D / 5D

Ein 3D-Gebäudemodell stellt die exakte geometrische Abbildung eines Bauwerks dar. Handelt es sich zusätzlich um ein BIM-Modell, verfügt dieses nicht nur über die rein geometrischen Angaben, sondern enthält zusätzliche Attribute und Informationen aller Komponenten oder Bauteile des Modells<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Vgl.: <https://www.tekla.com/de/bim/glossar> Zugriff am 12.02.2019

In einem 4D-Modell kommt zusätzlich zum 3D-Parameter eine weitere Dimension mit den Informationen zum Terminplan hinzu. Das 5D-Modell führt als weitere Dimension die Kosten ein. Mit der Erweiterung des 5D-BIMs um weitere Dimensionen, könnte das Modell mit weiteren Informationen zum Lebenszyklus wie Betrieb, Abriss, Entsorgung, Wartung und Instandhaltung angereichert werden [42]. (siehe Abb.1.8)



Abb. 1.8: Dimensionen von BIM [49]

## 1.7 Genderhinweis

Alle Personenbezeichnungen im folgenden Text sind geschlechtsneutral zu verstehen. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit ist die männliche Schreibweise gewählt.

## Kapitel 2

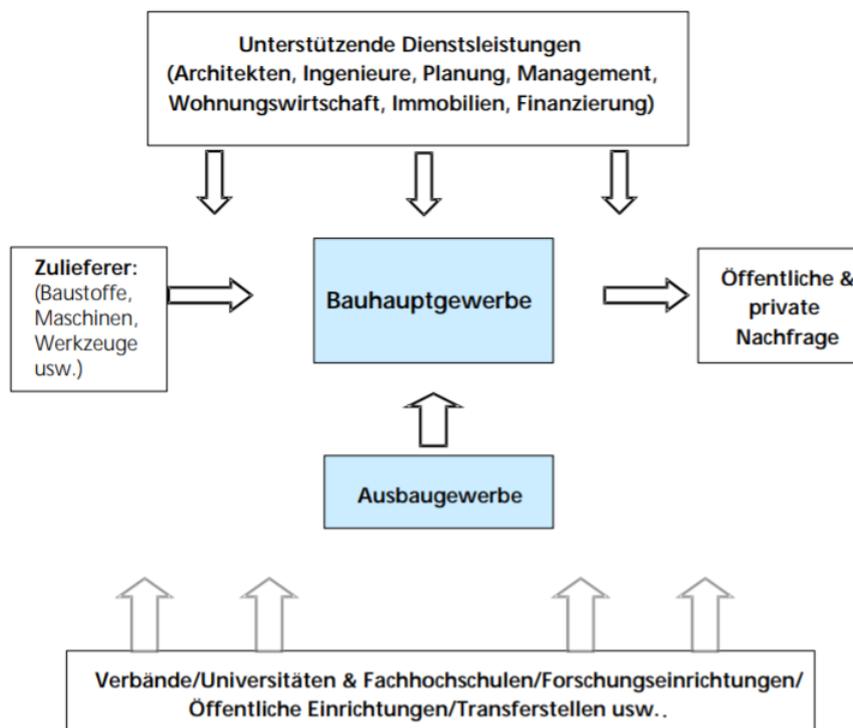
# Wertschöpfungskette Planung, Baubetrieb und Nutzung

### 2.1 Bauwirtschaft und die typische Wertschöpfungskette

Der Begriff Bauwirtschaft wird von RUSSIG wie folgt beschrieben [53, S. 11] :

”Die Bauwirtschaft bezeichnet den Teilbereich einer Volkswirtschaft, der sich mit der Errichtung, Erhaltung und Nutzung von Bauwerken sowie mit der Anpassung und Veränderung von Bauwerksbeständen durch Bautätigkeit befasst”

Der Begriff umfasst demnach nicht allein das Bauhauptgewerbe, sondern auch Baustoffhändler, Zulieferer, Architektur- und Ingenieurbüros sowie Projektentwickler und Betreiber von Immobilien und Infrastrukturanlagen.



**Abb. 2.1:** Bauwirtschaftliche Wertschöpfungskette nach ÖZ [47, S. 16]

Wie aus der Grafik 2.1 ersichtlich ist, zählt zur Wertschöpfungskette Bau auch ein breites Feld an Bildungs- und Weiterbildungseinrichtungen sowie Verbände, die für die Kompetenz der Beschäftigten und die Innovationspotenziale der Betriebe von grosser Bedeutung sind.

Die Wertschöpfungskette, auch Lieferkette genannt, umfasst alle Aktivitäten, Organisationen, Informationen und Ressourcen, die mit dem Fluss und der Transformation einer Ware vom Rohstoff zum Endkunden verbunden sind. Informations- und Materialflüsse können in der Wertschöpfungskette in beide Richtungen gehen [7].

Eine schematische Darstellung einer generischen Lieferkette ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

Diese Lieferkette (Supply-Chain) gilt für ein typisches Industrie- oder Gewerbeprodukt. Im Falle des Bauwesens gilt sie für Zulieferungen.

Für das Bauwesen mit charakteristischen „Bauen vor Ort“ stellt sich die typische Lieferkette (Supply-Chain) wie folgt dar:

- Entwicklung, Planung und Vorbereitung
- Beauftragung Ausführungen und Zulieferungen
- Produktion und Lieferung (Distribution) der Materialien

- Bauen vor Ort
- Abnahme und Übergang in den Betrieb

An diesem Vergleich einer traditionellen Industrie-Lieferkette mit einer typischen Bau-Lieferkette zeigt sich die Besonderheit des Bauwesens, was die Prozesse betrifft. Darauf ist auch bei der Digitalisierung Rücksicht zu nehmen

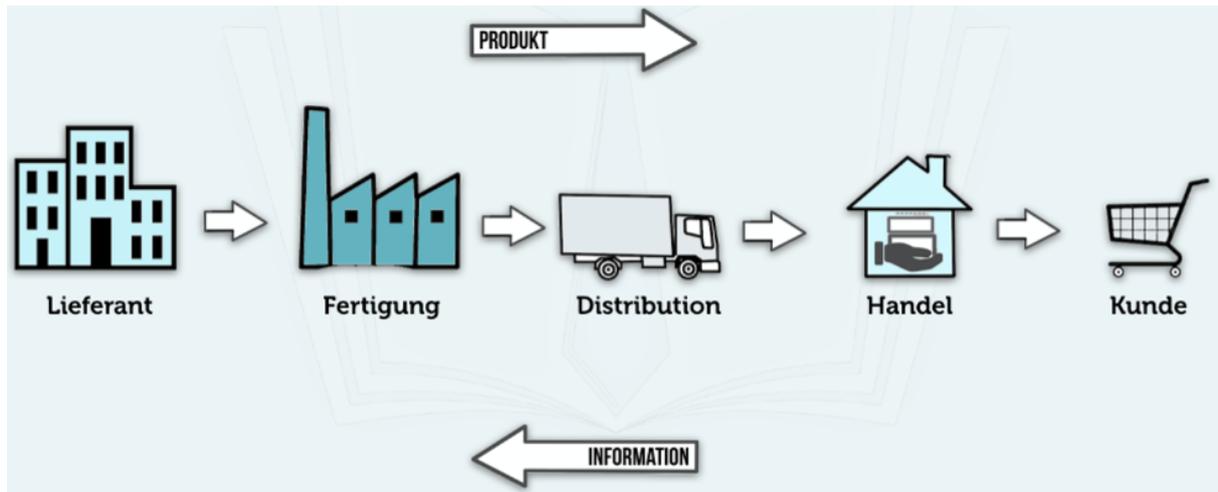


Abb. 2.2: Lieferkette [36]

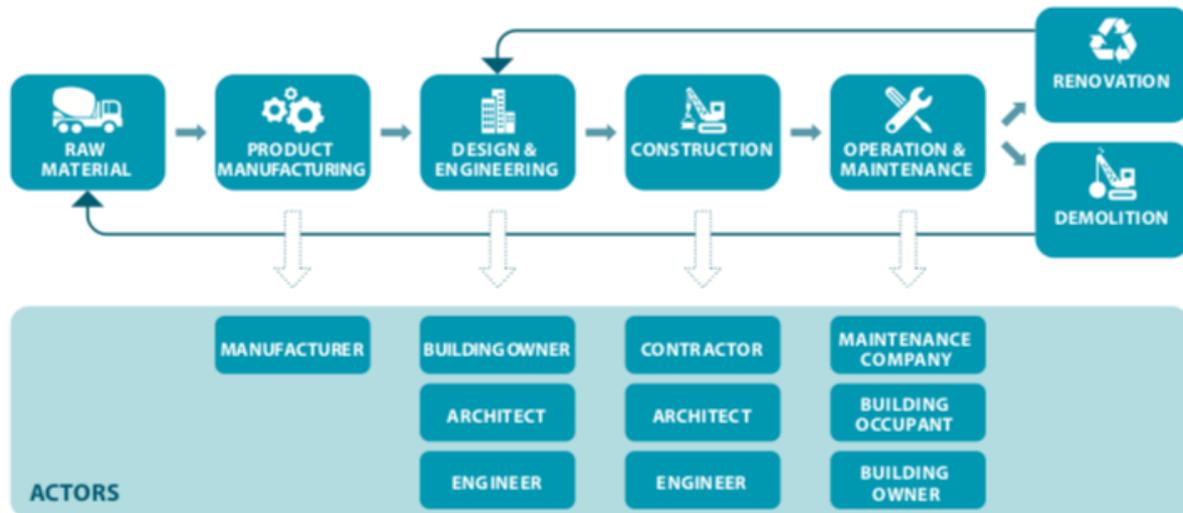
Die Lieferkette der Bauindustrie ist recht komplex und besteht aus mehreren unterschiedlichen Akteuren. Die Akteure sind an bestimmten Stufen der Lieferkette beteiligt.

Darüber hinaus kann die Bauindustrie aus Projektsicht in vier verschiedene Phasen unterteilt werden:

- Entwicklung, Planung und Vorbereitung,
- Produktherstellung und Zulieferung,
- Bauausführung vor Ort und
- Betrieb & Instandhaltung.

Die erste Stufe betrifft den Bauherrn, den Architekten und den Ingenieur, die zweite Stufe die Hersteller und Lieferanten, die dritte Stufe den Bauunternehmer, Subauftragnehmer und die letzte Stufe den Gebäudenutzer und Betreiber, das Facility-Management und die Wartung. Bauherr, Architekt und Ingenieur sind auch in der Phase der Ausführung im Sinne von Management und Controlling tätig. Die an einem Bauprojekt beteiligten Akteure können je nach Faktoren wie Projektumfang, Methode der Projektdurchführung und Käufer-/Eigentümerpräferenzen stark variieren [26].

Abbildung 2.3 stellt eine Lieferkette für die Bauindustrie unter Einbeziehung der an den einzelnen Phasen beteiligten Akteure dar. Diese Darstellung basiert auf den Untersuchungen von Buildings Performance Institute Europe (BPIE - Brüssel).



**Abb. 2.3:** Lieferkette der Bauindustrie [26]

Zu beachten ist folgender Aspekt: Diese Grafik (Abb.2.3 besagt, dass Planung und Engineering erst nach den Rohmaterialien und der Produktion erfolgt. Diese Darstellung geht also davon aus, dass die Planung aus allen am Markt verfügbaren Ressourcen (Materialien und Produkten) wählen kann. Die zuvor getroffene Annahme bei der Beschreibung der Wertschöpfungskette ging davon aus, dass Planung und Engineering zunächst zu definieren haben, welche Materialien und Zulieferungen gebraucht werden, bevor sie gewonnen und geliefert werden.

Wichtig ist die Feststellung, dass es sich nicht um einen „Contractor“ sondern um eine Vielzahl von Ausführenden und Zulieferern handelt, also Contractors und Subcontractors.

In diesen Zusammenhang ist für das Bauwesen von zentraler Bedeutung, dass Ausschreibungen und Vergaben die Wertschöpfungskette bestimmen. Zu jedem Bauprojekt gibt es eine Vielzahl von Verträgen, die über Ausschreibungen und Vergaben zu Stande gekommen sind. Sie regeln den technisch-wirtschaftlich-rechtlichen Ablauf des Projektes.

Die Digitalisierung greift in alle Prozessketten des Bauwesens ein:

- Entwicklung, Planung und Vorbereitung
- Produktion, Lieferung und Ausführung
- Administration, Vertragsmanagement und Abrechnung
- Nutzung und Betrieb

Diese oft getrennt betrachteten Prozessketten und Verantwortungssphären sind zu verknüpfen um Projekte erfolgreich abwickeln zu können. Dazu wird die Digitalisierung einen maßgeblichen Beitrag leisten können.

## 2.2 Unterschied zwischen Bau- und Herstellungsindustrie

Die Bauwirtschaft ist ein wichtiger Teil der österreichischen Volkswirtschaft (ca. 12 %). Sie unterscheidet sich im Aufbau, Marktverhalten und den Marktteilnehmern durch ihre spezifischen Besonderheiten grundlegend von anderen Industriezweigen.

Der Bauprozess als Wertschöpfungsprozess ist neben seiner Komplexität besonders durch Synergiebarrieren zwischen Planen, Bauen und Betrieb des Bauobjektes charakterisiert. Damit verbunden sind Schnittstellenverluste, die aufgrund unzureichender Information und Kommunikation zwischen den am Bau Beteiligten zu Kosten- und Terminüberschreitungen führen.

Das Problem der Baubranche ist es, dass der Bauunternehmer immer am Ende der Wertkette steht. Er steht somit am Ende der Entscheidungskette, übernimmt aber das größte Risiko.

Architekten, Statiker, Genehmigungsbehörden und, ganz am Ende, Bauunternehmen arbeiten ihre Aufträge ab, ohne ihr Spezialwissen und Zeitplanungen ausreichend miteinander zu verknüpfen.

Zu finden sind Textstellen wie:

Die Unternehmen der Branche haben i.d.R. nur geringen Einfluss auf den Bauprozess selbst. [...]

Durch die notwendige Einzelfertigung ist eine Wiederholbarkeit von Arbeitsvorgängen bzw. eine Standardisierung nur in vergleichsweise geringem Umfang gegeben [46, S. 8].

Jedes Bauwerk ist ein Prototyp, der nie in Serie geht [31, S. 123].

[...] unkalkulierbare und überraschend auftretende Probleme [...] [25, S. 36].

Für ZIMMERMANN bedeutet Unikatcharakter von Immobilienprojekten jedoch nicht, dass Leistungsprozesse nicht standardisierbar wären:

Jede Immobilie wird physisch durch ihre geometrischen Abmessungen und ihre Materialität definiert, d. h. durch ihre stoffliche Substanz, die im Regelfall für unterschiedliche Objekte nicht identisch sind. Tatsächlich bestehen Bauwerke, die jedoch aus vielen einzelnen Bauteilen bestehen, die in nahezu allen Bauwerken eines Immobilientyps an unterschiedlichen Standorten häufig vorkommen und die an sich keine Unikate sind oder waren, müssen immer denselben Herstellungsprozessen folgen,

selbst wenn die Abmessungen oder etwa die Betonfestigkeit unterschiedlich sind, wie etwa bei Stützen, Wände oder Decken. Beispielsweise sind Leistungsprozesse zur Herstellung einer Stahlbetondecke unabhängig davon, ob das Objekt in Berlin oder München errichtet wird oder fünf oder fünfundzwanzig Geschosse hat etc. Das Gleiche gilt auch für alle anderen Bauteile [62, S. 382].

## 2.3 Digitalisierung in Planung, Baubetrieb und Nutzung

Die digitale Technologie verändert industrielle Prozesse so schnell, dass sie als vierte industrielle Revolution bezeichnet wird. Die Bauindustrie dabei gehört zu jenen Branchen, die den meisten Nutzen daraus ziehen.

Ein Bericht des Weltwirtschaftsforums vom vergangenen Jahr ergab, dass die Einführung von Technologien wie künstlicher Intelligenz (KI) und Robotik der Industrie einen Aufschwung bringen kann, und dass die Zahl der derzeit angeschlossenen Geräte in der Welt von heute 6,4 Milliarden auf 20 Milliarden bis 2020 steigen wird [43].

Für die Bauindustrie liegen die Vorteile auf der Hand. Die Digitalisierung des industriellen Prozesses durch die Einführung von künstlicher Intelligenz, Sensoren und sensibleren Analysen kann Unternehmen helfen, den F&E-Prozess zu optimieren, die Kosten für Prototypen zu senken und Produkte schneller auf den Markt zu bringen [43].

Diese Effizienzsteigerung in der Planungsphase eröffnet den Bauunternehmen die Möglichkeit, aufgrund der Kosteneinsparungen personalisiertere und spezialisiertere Lösungen anzubieten [43].

Die Bauindustrie braucht sich nur den Fertigungssektor anzusehen, um zu sehen, wie sich die neue industrielle Revolution durchsetzt.

In Liverpool steht Sensor City im Mittelpunkt dieses Wandels und unterstützt Start-ups bei der Entwicklung von Technologien, die von Herstellern im gesamten Produktionsprozess eingesetzt werden können [43].

Sensor City ist eine Zusammenarbeit zwischen der University of Liverpool und der Liverpool John Moores University.

Sie ermöglichen Partnern aus Industrie und Wissenschaft in einer Vielzahl von Branchen, ihre innovativen Sensorkonzepte in wirtschaftlich sinnvolle Lösungen umzusetzen.

Sie sind von der Überwachung von Daten wie Licht und Temperatur bis hin zur Fehlererkennung bei der Fertigung von Prototypen oder Produkten im Einsatz.

Dies öffnet die Tür zum digitalen Prototyping - dem Einsatz von Virtual Reality (VR) zur Herstellung eines „digitalen Zwillings“ eines physischen Produkts, das viel schneller und kostengünstiger hergestellt, getestet und verändert werden kann [43].

Auf der Manufacturing Live, dem größten Fertigungsforum Großbritanniens, die in Liverpool stattfand, gab es unzählige Beispiele dafür, wie Hersteller diese Technologie in ihre industriellen Prozesse integrieren [14].

Die Liverpool John Moores University und das Virtual Engineering Centre in Daresbury sind führend beim Bau dieser digitalen Modelle, während die Sensor City und das weitere industrielle Ökosystem in Liverpool helfen, diese Technologie bei Herstellern, von globalen Unternehmen bis hin zu kleinen und mittleren Unternehmen, einzusetzen [43].

Bauunternehmen arbeiten bereits daran, eine solche Technologie auf mit BIM und CAFM anzuwenden, indem sie interaktive 3D-Modelle erstellen, die von allen am Projekt Beteiligten, vom Architekten bis zum Bauleiter, bearbeitet werden können. Die Auswirkungen einer Änderung auf einen Teil des Projekts werden sofort deutlich [43].

Der Wandel in Liverpool, bei dem die digitalen Technologien in allen Lieferketten zum Einsatz kommen, zeigt, in welche Richtung die Industrie, einschließlich des Bauwesens, geht.

Mit solchen signifikanten Effizienzsteigerungen für diejenigen, die bereit sind, Sensoren und andere digitale Technologien einzuführen und zu nutzen, ist es etwas, das die Bauindustrie immer mehr erforschen muss [43].

# Kapitel 3

## PM-Funktionen in den Phasen Planung, Baubetrieb und Nutzung, Bau-PM

Die DIN 69901 definiert ein Bauprojekt, wie folgt:

Ein Projekt ist ein Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist; Beispiel: Zielvorgabe, zeitliche, finanzielle, personelle oder andere Begrenzungen, projektspezifische Organisation.

Nach AICHELE sind Bauprojekte grundsätzlich gekennzeichnet durch [2, S. 30]:

- Einmaligkeit (fast immer), vergleichbar mit der Entwicklung eines neuen Produktes in der Industrie,
- zeitliche Befristung (Anfangs- und Endtermin), dies gilt insbesondere für die notwendige Einhaltung des gesetzten Inbetriebnahmetermins,
- begrenzte Ressourcen (Baugrundstück, Finanzierung u. a.), Risiken in der Aufgabenstellung, viele Bauvorhaben beruhen auf Annahmen, Projektbedingungen können sich schon vor der Fertigstellung des Bauvorhabens ändern,
- individuelle Organisation, die Form der Organisation wird zumindest bei jedem größeren Projekt eigens geschaffen und die beteiligten Personen werden neu zusammengestellt.

Das Management von Bauprojekte wird in Projektphasen strukturiert, wie z.B gem. HOAI.

Nach dieser Struktur in Phasen richten sich die wesentlichen Prozesse und dementsprechend auch die digitalen Tools, die zum Einsatz kommen.

Die Leistungsphasen der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure)	
<b>Leistungsphase 1, Grundlagenermittlung (3%)</b>	
<b>Grundleistungen</b>	<b>Besondere Leistungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klären der Aufgabenstellung</li> <li>- Beratung zum gesamten Leistungsbedarf</li> <li>- Formulierung von Entscheidungshilfen für die Auswahl anderer an der Planung fachlich Beteiligter</li> <li>- Zusammenfassung der Ergebnisse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bestandsaufnahme</li> <li>- Standortanalyse</li> <li>- Aufstellung eines Raum- und Funktionsprogramms</li> <li>- Prüfen der Umwelterheblichkeit und der Umweltverträglichkeit</li> </ul>
<b>Leistungsphase 2, Vorplanung (7%)</b>	
<b>Grundleistungen</b>	<b>Besondere Leistungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundlagenanalyse</li> <li>- Abstimmung der Zielvorstellungen</li> <li>- Erarbeitung eines Planungskonzepts einsch. Untersuchung der alternativen Lösungsmöglichkeiten nach gleichen Anforderungen mit zeichnerischer Darstellung und Bewertung, z. B. versuchsweise zeichnerische Darstellungen, Strichskizzen</li> <li>- Integrieren der Leistungen anderer an der Planung fachlich Beteiligter</li> <li>- Klärung und Erläuterung von Städtebau, Gestaltung, Ökologie, Ökonomie in Erstellung und Nutzung</li> <li>- Verhandlungen mit den Behörden zur Sicherung der Genehmigungsfähigkeit</li> <li>- Kostenschätzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Untersuchung von Lösungsmöglichkeiten nach Grundsätzlich verschiedenen Anforderungen</li> <li>- Finanzierungsplanung, Betriebs-Kosten-Nutzen-Analyse</li> <li>- Mitwirken bei der Kreditbeschaffung</li> <li>- Durchführen der Bauvoranfrage</li> <li>- Anfertigen von Perspektiven, Muster, Modelle</li> <li>- Aufstellung der Zeit- und Organisationsplanung</li> <li>- Gebäude- und Bauteiloptimierung zur Verringerung des Energieverbrauchs sowie der Schadstoffemissionen und zur Nutzung erneuerbarer Energien</li> </ul>
<b>Leistungsphase 3, Entwurfsplanung (11%)</b>	
<b>Grundleistungen</b>	<b>Besondere Leistungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bearbeiten des Planungskonzeptes</li> <li>- Zeichnerische Darstellung des Gesamtentwurfs</li> <li>- Verhandlungen über die Genehmigungsfähigkeit</li> <li>- Kostenberechnung und Kostenkontrolle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- System- und Integrationsplanung</li> <li>- Analyse von Alternativen / Varianten mit Kostenuntersuchung / Kostenoptimierung</li> <li>- Wirtschaftlichkeitsberechnung</li> <li>- Kostenberechnung durch aufstellen von Mengengerüsten oder Bauelementkatalog</li> </ul>
<b>Leistungsphase 4, Genehmigungsplanung(6%)</b>	
<b>Grundleistungen</b>	<b>Besondere Leistungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erarbeiten der Vorlagen der erforderlichen Genehmigungen oder Zustimmungen einsch. der Anträge auf Ausnahmen und Befreiungen</li> <li>- Einreichen des Baugesuches</li> <li>- Begleitung des Genehmigungsverfahrens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mitwirken bei der Beschaffung der nachbarlichen Zustimmung</li> <li>- Erarbeitung von Unterlagen für besondere Prüfverfahren</li> <li>- Unterstützung des Bauherrn in Widerspruch- oder Klageverfahren</li> <li>- Ändern der Genehmigungsunterlagen</li> </ul>
<b>Leistungsphase 5, Ausführungsplanung (25%)</b>	
<b>Grundleistungen</b>	<b>Besondere Leistungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durcharbeiten der Ergebnisse der Leistungsphasen 3 und 4</li> <li>- Ausführungspläne</li> <li>- Detail- und Konstruktionszeichnungen</li> <li>- Einarbeiten von Fachplanungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detaillierte Objektbeschreibung als Raumbuch</li> <li>- Detailmodelle</li> <li>- Prüfen und Anerkennen von Plänen Dritter</li> </ul>
<b>Leistungsphase 6, Vorbereitung der Vergabe (10%)</b>	
<b>Grundleistungen</b>	<b>Besondere Leistungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Massenermittlung als Grundlage für Leistungsbeschreibungen</li> <li>- Aufstellen von Leistungsbeschreibungen mit Leistungsverzeichnissen nach Leistungsbereichen</li> <li>- Abstimmen und Koordinieren der Leistungsbeschreibungen aller Gewerke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leistungsbeschreibungen mit Leistungsprogramm unter Bezug auf Raumbuch</li> <li>- Kostenübersichten mit Auswertung der Beiträge an der Planung fachlich beteiligter</li> </ul>
<b>Leistungsphase 7, Mitwirkung bei der Vergabe (4%)</b>	
<b>Grundleistungen</b>	<b>Besondere Leistungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einholen, Prüfen und Auswerten der Angebote, Aufstellen eines Preisspiegels</li> <li>- Verhandlung mit Bietern und Mitwirken bei der Auftragserteilung</li> <li>- Kostenanschlag und Kostenkontrolle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfen und Werten von Angeboten und Preisspiegeln nach besonderen Anforderungen</li> </ul>
<b>Leistungsphase 8, Objektüberwachung (31%)</b>	
<b>Grundleistungen</b>	<b>Besondere Leistungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überwachen und Koordinieren der Ausführung</li> <li>- Aufstellen und Fortschreiben eines Zeitplans, Führen eines Bautagebuches</li> <li>- Abnahme der Bauleistung, Feststellung von Mängeln und Überwachen der Beseitigung</li> <li>- Rechnungsprüfung und Kostenfeststellung, Kostenkontrolle</li> <li>- Organisation behördlicher Abnahmen</li> <li>- Übergabe des Objekts</li> <li>- Auflisten der Gewährleistungsfristen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufstellen, Überwachen und Fortschreiben von Zahlungsplänen und differenzierten Zeit-, Kosten- oder Kapazitätsplänen</li> <li>- Über die Grundleistung hinausgehende Tätigkeit als verantwortlicher Bauleiter</li> </ul>
<b>Leistungsphase 9, Objektbetreuung und Dokumentation (3%)</b>	
<b>Grundleistungen</b>	<b>Besondere Leistungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mitwirken bei der Freigabe von Sicherheitsleistungen</li> <li>- Zusammenstellung der zeichnerischen und textlichen Unterlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufstellen von Bestandspläne, Ausrüstungs- und Inventarverzeichnisse, Wartungsanweisungen</li> <li>- Objektbeobachtung und -verwaltung, Überwachen der Wartungs- und Pflegeleistungen</li> <li>- Baubegehungen nach Übergabe</li> <li>- Aufbereiten des Zahlmaterials für eine Objektdatei</li> <li>- Ermittlung und Kostenfeststellung zu Kostenrichtwerten</li> <li>- Überprüfen der Bauwerks- und Betriebs-Kosten-Nutzen-Analyse</li> </ul>

Abb. 3.1: Phasen des Projektmanagements [5]

Die Aufgabe des Bau-PM ist die gesamthafte Realisierung und Optimierung von Projekten, dazu gehören die Leistungen wie sie in der HOAI beispielhaft beschrieben sind.

In den letzten Jahren gibt es verstärkte Bemühungen, den Lebenszyklus von Projekten ganzheitlich zu verstehen und organisieren. Die folgende Auflistung der IG-LEBENSZYKLUS stellt die Verbindung von Bau-PS/PM und Nutzer-PS/PM dar. Ein Ziel der Digitalisierung ist, die Phasen Planung, Bau und Nutzung durch den Einsatz digitaler Tools besser zu verbinden und zu optimieren.

Projektmanagement	<b>Projektleiter:</b> Der Projektleiter übernimmt die übergeordnete Führung des Projektes.
	<b>Rechtsberatung:</b> Der Rechtsberater berät den Projektleiter in rechtlichen Fragen, ist Ansprechpartner in allen rechtlichen Fragen des Beschaffungsvorganges und bei der Ausarbeitung von Verträgen. Er wirkt auch bei der Durchsetzung von Vertragspflichten mit.
	<b>Finanzierungsberatung:</b> Der Finanzierungsberater berät den Projektleiter in finanzierungstechnischen Fragen.
	<b>Prozessmoderation:</b> Der Prozessmoderator schafft Rahmenbedingungen für eine wertschätzende Projektkommunikation.
	<b>Sachverständiger   Gutachter:</b> Sachverständige und Gutachter liefern punktuell Experten-Inputs zu unterschiedlichsten Themen entlang des Projektverlaufes.
	<b>Bau PS:</b> Die Bau-Projektsteuerung steuert die lebenszyklusorientierte Planung und Errichtung als Unterstützung der Projektleitung in den Handlungsbereichen Information/Koordination, Qualitäten/Quantitäten, Kosten/Finanzierung, Termine und Kapazitäten, Verträge/Versicherungen.
	<b>Nutzer PS:</b> Die Nutzer-Projektsteuerung besteht aus mehreren Rollenbildern. Diese sind durch inhaltliche und steuernde Aufgaben charakterisiert, die in der Sphäre des Auftraggebers angesiedelt sind.
	<b>Betriebs- und Organisationsplanung:</b> Die Betriebs- und Organisationsplanung definiert in Abstimmung mit den Nutzervertretern den Bedarf der lebenszyklusorientierten Nutzung und schreibt diesen fort.
	<b>Projektentwicklung:</b> Die Projektentwicklung erarbeitet die Entscheidungsgrundlage zum Projekt aus Sicht der Nutzung, des Standorts, der Finanzierung und des Beschaffungsmodells.
	<b>Nutzerseitige Ausstattung:</b> Hier erfolgt die Steuerung der lebenszyklusorientierten Planung und Errichtung der Nutzerseitigen Ausstattung.
<b>FM Consulting:</b> Facility Management Consulting definiert in enger Abstimmung mit dem Facility Manager den Bedarf der lebenszyklusorientierten Bewirtschaftung und schreibt diesen fort.	
<b>Verfahrensbetreuung:</b> Die Verfahrensbetreuung führt die Vergabe von Leistungen aus Planung, Errichtung und Bewirtschaftung.	
<b>Umzug   Rückbau:</b> Im Umzug   Rückbau erfolgt die Steuerung und Planung der Umsetzung des Umzugs und des Rückbaus.	

Abb. 3.2: Rollen im Projektmanagement [32]

### 3.1 Einsatz von EDV-Lösungen im BAU-PM

Ständig wechselnde Umstände ändern die Rahmenbedingungen eines Projektes. Das PM ist mit sehr vielen Entscheidungen verbunden, die das Projekt in unterschiedlichem Ausmaß beeinflussen. Daher muss ein Projektmanager mit einer Methode flexibel reagieren können und sich mit Hilfe dieser verschiedene Szenarien aufzeigen lassen, um sich dem Ausmaß seiner Entscheidungen bewusst zu werden.

Es gilt die wesentlichen Faktoren ständig zu kontrollieren und eventuell so auf einander abzustimmen, dass die geforderten Sollwerte erfüllt werden.

DREWS und HILDEBRAND zählen u.a. folgende Faktoren auf, welche die Wahl der geeigneten Methode beeinflussen [15]:

- Projektgröße
- Projektart
- Risiko
- Projektphase
- Methodologie
- technologisches Umfeld

Einzelne Disziplinen im Bausektor profitieren schon seit langer Zeit von IT-basierenden Lösungen. Grundlage dafür sind leistungsfähige Computer, fachlich geschulte Mitarbeiter und die allgemeine Akzeptanz jener im Unternehmen.

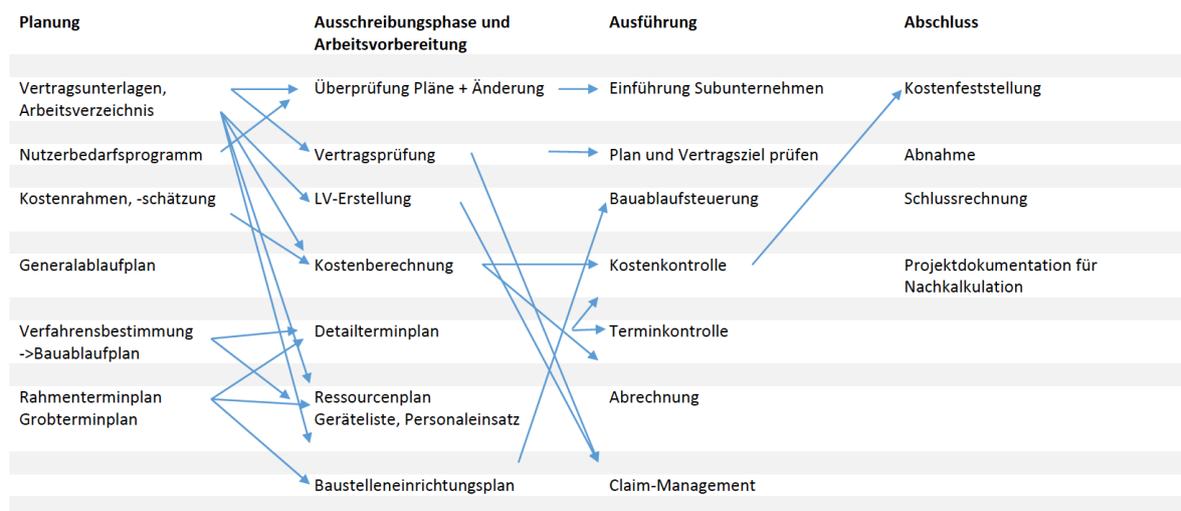
## 3.2 EDV-Anwendungsbereiche in der Projektabwicklung

Arbeitsplatzsoftware, Workflow und Collaboration-Software, Projektmanagement-Software sowie integrierte Lösung können zu verschiedenen Zeitpunkt in der Projektabwicklung zum Einsatz kommen [48]. Ein Bauprojekt besteht aus diversen Strukturen, Daten und daraus gewonnen Informationen. Diese werden mittels Dokumenten festgehalten [24].

Unterschieden wird dabei zwischen strukturierten und unstrukturierten Dokumenten. Zu den Ersten werden u.a. Kosten- und Terminpläne, Entwurfspläne, Leistungsverzeichnisse oder Auftrags- und Abrechnungsdokumente gezählt. Die Unstrukturierten umfassen u.a. Erläuterungen, Niederschriften, Protokolle, allgemeinen Schriftverkehr, Claims und Berechnungen [24].

Die Phasen und die dazugehörigen Informationen bauen aufeinander auf. Die Verknüpfung dieser erfolgt digital oder manuell durch das Projektmanagement.

In der folgenden Grafik 3.3 sieht man die Verbindung einzelner Aufgaben und damit zusammenhängender Informationen über die Projektphasen hinweg.



**Abb. 3.3:** Schematische Beschreibung der wesentlichen Prozesse und Zuordnung [44]

In der Abbildung 3.3 sind die wesentlichen Aufgaben des PM, somit auch jene der eingesetzten Software, nach den einzelnen Projektphasen aufgeführt. Einzelne Aufgaben wie Zieldefinition oder Abnahme sind phasenbedingt und einmalig. Andere Aufgaben wie die Dokumentation, das Änderungsmanagement oder das Controlling kommen in mehreren Phasen vor und wiederholen sich teilweise zyklisch. Sie hängen direkt oder indirekt zusammen. Bei einer direkten Abhängigkeit bilden die Ergebnisse der vorherigen Aufgabe die Grundlage für die darauffolgende. Hängen die Aufgaben indirekt zusammen, fließen die Informationen über eine dazwischenliegende Verwertung verändert in die Aufgabe mit ein.

Häufig können Informationen aus wichtigen Schriftstücken wie Verträgen aufgrund von Inkompatibilität der verwendeten Software oder Tools nicht eingelesen werden [24]. Auch bei der Übertragung der Informationen vom Medium Papier in ein digitales Format kommt es zum Medienbruch, was zu Informationsverluste führen kann [4].

Die Vielfalt der Beteiligten an einem Projekt führt zudem zu einer Diversität in der Darstellung und Form dieser Dokumente und Informationen [24].

Ingenieure und Architekten verwenden andere Sprachen und Darstellungen wie Kaufmänner, da sie mit unterschiedlichen Codierungen und Systemen arbeiten [24].

Nach WISCHNEWSKI ist „die Information das Kernstück der Projektabwicklung. Ein funktionierender Informationsfluss garantiert den Erfolg.“ [59, S. 62]

Durch die Verarbeitung von Informationen nach diversen Methoden, können weitergehende Aussagen gemacht werden. Wird für die Unterstützung der Methode ein allgemeines Tool wie ein Tabellenkalkulationsprogramm verwendet, steht eine begrenzte Anzahl an Möglichkeiten für einen automatischen Transfer von Daten zur Verfügung.

Spezialisierte Software und Komplettlösungen bieten hingegen in der Regel mehr Möglichkeiten über kompatible Schnittstellen. Dabei greift das Programm auf einen unternehmensinternen oder -externen Speicher und transferiert die benötigten Daten. Bei einer Projektabwicklung mit BIM soll ein nahezu vollständiger, interdisziplinärer Datentransfer durch eine neutrale Schnittstelle ermöglicht werden.

Die Basis für alle Informationen wird in der Phase „Projektdefinition“ geschaffen. Dabei legt der Bauherr die Eckpunkte wie Design, Budget, Zeitrahmen und erste Projektbeteiligte fest.

Das Ergebnis dieser Phase sind Ausführungspläne, Leistungsverzeichnisse, PSP und Soll-Vorgaben für Kosten-, Termin- und Qualitätsziele.

Zudem geben zusätzlich Gesetze, Normen und Richtlinien Vorgaben für ein Projekt vor. In dieser Phase liegen die Ergebnisse in einer für alle verständlichen Form vor. Mit zunehmendem Projektverlauf jedoch werden diese derart durch die dafür zuständige Abteilung weiter verarbeitet, sodass zunehmend Detailwissen für das Verständnis erforderlich wird. Zudem arbeiten sie mit eignen Software-Lösungen, welche nur bedingt mit der restlichen Software-Landschaft kompatibel ist. Beispielsweise besitzt eine Software-Lösung für den Bereich „TGA“ eine kompatible Schnittstelle für Zeichenprogramme, aber keine für Software-Lösungen für den Bereich „AVVA“. Diese sind somit nur mit bestimmten, der in einem Projekt angewendeten Dateiformaten kompatibel.

Ein weiterer Bruch entsteht zwischen der Planungs-, Realisierungs- und Erhaltungsphase. Häufig kommt es erst zu einer späten Integration der Projektverantwortlichen des Bereiches Betrieb, wodurch sich ein Bruch im Informationsfluss ergibt [45]. Mittels Software, neuer Datenformate, diverser Plattformen und neuer Ansätze wie BIM, wird versucht diesem entgegen zu wirken und somit möglichst allen Disziplinen einen vollständigen Datentransfer zu gewährleisten.

### 3.3 Inputs und Outputs in wesentlichen Projektphasen

In der nachfolgenden Grafik 3.4 werden die möglichen Methoden für die einzelnen Phasen und Aufgaben angeführt.

In vielen Fällen bieten sich heute unterschiedliche Werkzeuge und Software an, Methoden zu unterstützen.

Die korrekte Übergabe von Informationen ist eine wichtige Grundlage für die BIM-basierte Projektabwicklung. Auf Grund der erwähnten Schnittstellenproblematik ergibt sich auch hier ein Bruch. Die Arbeit mit allgemeinen Tools wie einem Tabellenkalkulationsprogramm oder aber nur auf ein Gebiet spezialisierter Software lässt nur einen gewissen Datentransfer zu. Das Projektmanagement muss demnach nicht nur die Informationen aus den verschiedenen Phasen

und Projektbeteiligten transferieren, sondern auch teilweise innerhalb seiner eigenen Aufgaben. Die Bedeutung der Koordination und Kommunikation nimmt dadurch zu.

Komplettlösungen und die Arbeit mittels BIM versuchen Brüche im Informationstransfer zu überwinden. Ein vollständiger digitaler Datentransfer ist damit auch noch nicht möglich. Jedoch führen eine gemeinsame Datenbasis und die stetig wachsende Funktionspalette von Managementsoftware zu einer Überwindung dieses Bruchs.

Phase	Methode	Input	Output	Kategorien
Planung	Organisationshandbuch	Alle wesentlichen Projektdaten	Projektziele, Struktur, Organisation, Kommunikationssystem	Tabellenkalkulationsprogramm, Textverarbeitungsprogramm, PM-Software
	Projekthandbuch	Alle wesentlichen Projektdaten	Allgemeine Projektinformationen, Projektstruktur	Tabellenkalkulationsprogramm, Textverarbeitungsprogramm, PM-Software
	Linienorganisation	Projektbeteiligte	Verantwortlichkeiten, Organigramm	Tabellenkalkulationsprogramm, PM-Software
	Stablinienorganisation	Projektbeteiligte	Verantwortlichkeiten, Organigramm	Tabellenkalkulationsprogramm, PM-Software
	Matrixorganisation	Projektbeteiligte	Verantwortlichkeiten, Organigramm	Tabellenkalkulationsprogramm, PM-Software
	Projektstrukturplan (PSP)	Objekt u./o. Funktion, Prozesse,	Projektstruktur, Arbeitspakete, Vorgänge, Verantwortlichkeiten	PM-Software, AVA- Software
	Meilensteinplan	Interne und externe Termine,	Leistungsabgrenzung, Terminvorgaben	PM-Software, AVA-Software
	Balkenplan	Vorgänge, Anfangs- oder Endtermin	Balkendiagramm	PM-Software, AVA-Software, Tabellenkalkulationsprogramm
	Netzplan	Vorgänge, Anfangs- oder Endtermin, Abhängigkeiten	Netzdiagramm mit kritischem Weg	PM-Software, AVA-Software, Tabellenkalkulationsprogramm
	Linienendiagramm	Vorgänge, Anfangs- oder Endtermin, Arbeitsgeschwindigkeit, Stationierung	Linienendiagramm/ Zeit-Weg-Diagramm	PM-Software, AVA-Software, Tabellenkalkulationsprogramm
	Ablaufplanung	PSP, Termine, Vorgänge und Dauer dieser, Abhängigkeiten	Ablaufplan	PM-Software, AVA-Software
	Kostenschätzung	Budget, objektspezifische Angaben (Elemente, bautechnische Anforderungen, Ausstattungsstandard), Standort	Kostenrahmen, Kostenziele	Tabellenkalkulationsprogramm, PM-Software, AVA-Software

Phase	Methode	Input	Output	Kategorien
Ausführung/ Controlling	Kennwertmethoden	Baukostenkennwerte	Kostenrahmen	AVA-Software,
	Elementarmethoden	Bauelemente, Leistungsgruppen	Elementkosten, Leistungsgruppenkosten, Kostenbereiche	AVA-Software, PM-Software
	Leistungsgruppenmethode	Leistungsgruppen	Bauteil und/oder - abschnittskosten	AVA-Software, PM-Software
	Positionsmethode	Leistungsverzeichnis, Preisdatenbank	Kostenanschlag	AVA-Software, PM-Software
	Rechnungsprüfung	Eingegangene Rechnungen, Soll-Werte	Kosten	Spezialsoftware
	Kostenverfolgung	Kostenziele, Ist-Kosten, Rechnungen, Lieferscheine,	Ist-Werte, Abweichungen	Tabellenkalkulationsprogramm, PM-Software, AVA-Software
	Personalplanung	Kapazitätsbedarf, Bauablaufplan, Terminplan	Einsatzmittelbedarfsplan	PM-Software
	Materialeinsatzplanung	Bauablaufplan, Leistungsverzeichnis	Einsatzmittelbedarfsplan	PM-Software, Spezialsoftware
	Geräteinsatzplanung	Bauablaufplan,	Einsatzmittelbedarfsplan	PM-Software, Spezialsoftware
	Detailierung Terminplan	Soll-Terminplan, Ist-Werte, Ablaufplan, Berichte, Analysen	Terminplan	AVA-Software, PM-Software
	Terminkontrolle	Soll-Terminplan, Ist-Werte, Ablaufplan, Berichte	Abweichungen, Terminplan, Restdauer	AVA-Software, PM-Software
	Ablaufkontrolle	Ablaufplan, Ist-Werte, Berichte, Analysen	Abweichungen	AVA-Software, PM-Software
	Kostenverfolgung	Kostenplan, Soll-Kosten, Meilensteine	Ist-Kosten, Abweichungen,	AVA-Software, PM-Software
	Rechnungsprüfung	Rechnungen	Kosten	Spezielle Software
	Leistungsbewertung	Zeiterfassung, Ist-Daten	Fortschrittsgrad	PM-Software
Aufwandstrendanalyse	Meilensteinplan, Ist-Daten, Berichte	Fertigstellungsgrad, Abweichung	PM-Software	
Meilensteintrendanalyse	Leistungs- und Terminfortschritt	Meilensteinplan und Exploration, Projektfortschritt	PM-Software	

Abb. 3.4: Inputs und Outputs in den wesentlichen Projektphasen [44]

Die Abbildung 3.4 zeigt ausgewählte Methoden mit dem jeweiligen Input und Output des Projektmanagements und mittels welcher Software diese digital unterstützt werden können. Die Aufgabe des PM ist es dabei, die richtigen Informationen aus dem ihm zu Grunde liegenden Quellen zu besorgen und diese in das gewählte Programm einzugeben. Mit Hilfe spezieller Software und Komplettlösungen kann diese abhängig von der Funktionspalette des Softwareanbieters bis zu einem gewissen Grad digital erfolgen. Bei einer Standardsoftware oder einem einfachen Tool, muss er die Daten selbst eingeben. Wenn Vorlagen für die Durchführung einzelner Methoden vorhanden sind, erfolgt die Auswertung der Daten nach diesen. Ansonsten erfolgt eine manuelle Durchführung und Auswertung der Einzelergebnisse bei der Verwendung von Standardprogrammen.

Bei spezialisierten Software- und Komplettlösungen können die Daten über Verbindungen geholt und eingepflegt werden. Die Arbeit nach der gewählten Methoden kann anschließend digital erfolgen. Welche Schnittstellen und Methoden dabei zu Grunde liegen, ist softwareabhängig. Bei einer komplexeren Analyse, Differenzierung der Ergebnisse und Wichtung dieser sind spezialisierte Software oder Komplettlösungen mit darauf ausgerichteten Funktionen hilfreicher als allgemeine Software-Lösungen und Tools.

# Kapitel 4

## Das digitale Bauprojekt

Ziel eines digitalen Bauprojektes ist es, Prozesse über den gesamten Lebenszyklus hinweg durch den Einsatz von Building Information Modeling (BIM)-Systemen zu integrieren. Der Schwerpunkt liegt auf der Erstellung und Wiederverwendung konsistenter digitaler Informationen durch die Beteiligten während des gesamten Lebenszyklus. .

In diesem Kapitel wird der Stand der Implementierung der BIM-Systeme am österreichischen Markt und ihre Auswirkungen auf die Branche besprochen.

Die Digitalisierung des Bauprozesses von der Idee bis zum Betrieb ist seit vielen Jahren im Gange. Die Visionen für ein digitales Bauvorhaben entstanden bereits Anfang der 80er Jahre, als die ersten PC-basierten CAD-Zeichnungsprogramme in Ingenieurbüros und Architekturbüros eingeführt wurden. In einem solchen visionären Prozess können digitale Prozessdaten nach einem ausgewählten Kriterium verarbeitet, kopiert, wiederverwendet und abgerufen werden.

Im digitalen Prozess tragen Architekten, Ingenieure, Auftragnehmer und Lieferanten jeweils zur Ermittlung der Datenmenge bei, die das Bauvorhaben ausmacht. Anschließend können relevante Daten, die für Berechnungen und Spezifikationen oder für die Bestellung und Planung benötigt werden, in sinnvoller Form und sehr unkompliziert und schnell abgerufen werden.

Die rasante Entwicklung der letzten Jahre hat die Vision eines digitalen Prozesses in Reichweite gebracht. Immer mehr Akteure im Bausektor verfügen über die BIM-Technologie und die Kapazitäten, um sie einzusetzen. Gleichzeitig ist es einzelnen Akteuren logischer Weise nicht möglich, mit den aktuellen Routinen und Technologien alleine voranzugehen, da Bauprojekte vielfach vernetzt sind.

Die Umsetzung bereits vorhandener Technologien sowie die Weiterentwicklung neuer Werkzeuge und Prozesse sind daher die größten Herausforderungen bei der Digitalisierung der Prozesse im Bausektor. Dabei besteht ein großer Bedarf an der Entwicklung von Basisstandards und Management von Daten damit die Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten sowie der effiziente, sichere und nutzbringende Umgang mit Gebäudemodellen und Bauprozessen sichergestellt ist.

Eines der Hauptprobleme bei der digitalen Projektabwicklung ist die Sicherstellung eines koordinierten, zuverlässigen und kontinuierlichen Informationsflusses. Der Koordinationsaufwand ist beträchtlich, da der fragmentierte Ansatz bei der Durchführung von Projekten von zahlreichen unabhängigen Projektbeteiligten verursacht wird, die alle unterschiedliche Software- und Informationssysteme nutzen.

Eine Möglichkeit, die Bauprozesse sowohl in der Planungs- als auch in der Ausführungsphase zu verbessern, besteht darin, eine einheitliche Datenbasis zu nutzen, auf die alle am Projekt Beteiligten zugreifen können, um so wiederum Schnittstellen zu reduzieren.

Das digitale Bauen konzentriert sich derzeit in dieser Hinsicht in erster Linie auf das Erproben und die praktische Umsetzung bereits verfügbarer und nutzbarer Technologien.

Ein Bauprojekt ist eine komplexe Entwicklung, die typischerweise in einer Außenumgebung stattfindet und eine Vielzahl von Mitarbeitern sowie eine Reihe von Geräten und verschiedenen Materialien umfasst. Um ein bestimmtes Projekt erfolgreich abzuschließen, müssen zahlreiche Entscheidungen auf allen Ebenen getroffen werden; fundierte Entscheidungen basieren auf einem gut entwickelten Projektumfang und Projektplan, insbesondere der Integrität der Schnittstellen zwischen den Prozessschritten kommt eine große Bedeutung zu.

Dazu stellt die unten abgebildete Grafik 4.1 in ganz übergeordneter Form die Prozesse samt deren Schnittstellen von Bauprojekten dar.

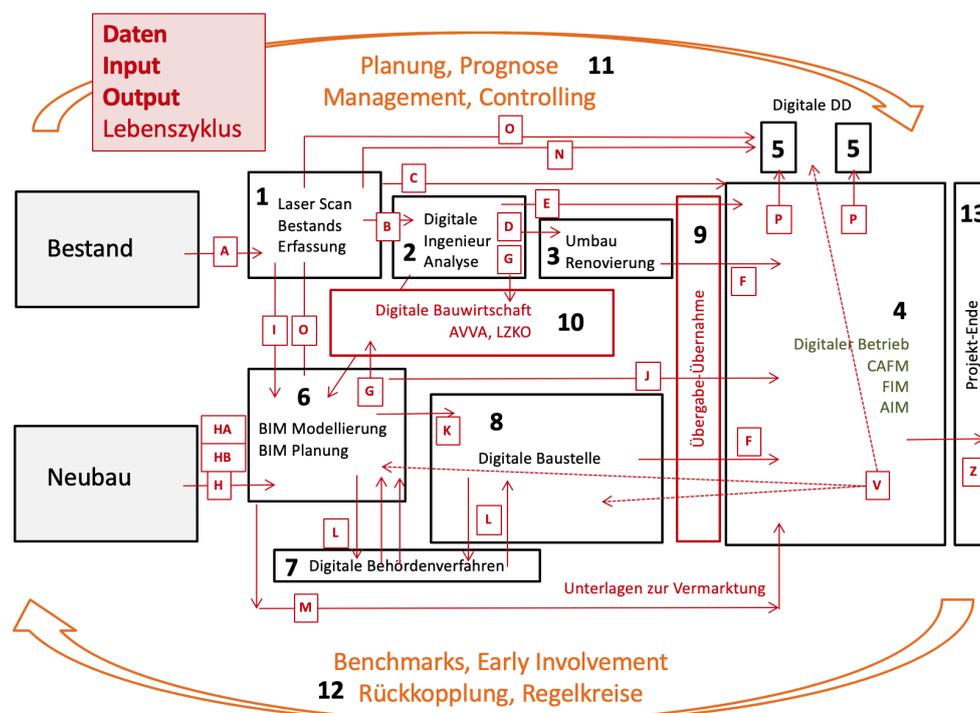


Abb. 4.1: Prozessschritten eines Bauprojekts [23]



**Abb. 4.2:** Digitales Bauprojekt in den Phasen Planen, Bauen, Betreiben[22]

Diese Grundprozesse können in drei folgenden Hauptkategorien zusammengefasst werden. (siehe Abb. 4.2)

- Planen
- Bauen und
- Betreiben.

In der Grafik 4.1 werden auf einfache Weise die Prozesse eines Bauprojektes hinsichtlich ihrer Digitalisierung dargestellt. Am Beginn von Projekten besteht üblicherweise eine Bestandserfassung oder die Planung eines Neubaus. Am Ende steht immer der Betrieb dessen Erfolg entscheidend für die Optimierung der Lebenszykluskosten ist.

Die wesentlichen Prozessphasen werden mit Ziffern bezeichnet und im Folgenden kurz beschrieben, mit Fokus auf digitalen Input, Output und Tools.

Input und Output sind in der Grafik mit roten Buchstaben bezeichnet.

Hier gilt der allgemeine Grundsatz: der Input muss mit Mehrwert und für die Nächsten verständlich als Output weiter gegeben werden.

Inputs sind die Art von Informationen, die notwendig sind um den jeweiligen Arbeitsschritt bzw. Arbeitsprozess korrekt auszuführen. Ziel ist es die Qualität dieser Daten bzw. Informationen so sinnvoll wie möglich zu definieren bzw. festzulegen. Sinnvoll bedeutet Daten ohne allzu viel Informationsüberfluss weiterzugeben.

Typische Inputs im BIM-Modelling (6) sind:

- Aufbereitete Punktwolken aus Laserscanning,
- Fachmodelle vom Fachplaner, z.B. TGA
- usw.

Outputs sind dagegen die Ergebnisse des Tätigkeitsprozesses bzw. Arbeitsschritts. Oft wird durch die Tätigkeit dem Input ein Mehrwert hinzugefügt, bevor er als Output den Prozess verlässt.

Typische Beispiele sind: Der Ingenieur wird vom Bauherrn beauftragt ein Bestandsobjekt aufzunehmen. Er bekommt gegebenenfalls diverse Grundlagen, falls diese vorhanden sind. Daraufhin wird ein Konzept für die Bestandserfassung erstellt und das Gebäude dementsprechend aufgenommen. Die Daten bestehend aus Milliarden von Punkten, auch Punktwolke genannt, werden aufbereitet und als 3D-Modell an den Architekten bzw. an die BIM-Modellierung weitergeleitet.

Nach der Beschreibung eines typischen digitalen Bauprojektes in Summe, geht die Diplomarbeit auf konkrete Fallbeispiele ein.

- **Fall A** Der Weg vom Bestandsobjekt zum BIM-Modell
- **Fall B** Von der BIM-Planung über die digitale Baustelle in den Betrieb

Es wurden genau diese beiden Fallbeispiele ausgewählt, weil damit die Schnittstellen und die Prozesse in der Abbildung 4.1 großteils abgedeckt und authentisch wiedergeben werden.

## 4.1 Laserscan bzw. Bestandserfassung

Die Schnittstelle [A] bezeichnet den Start eines Bestand-Projektes. Je genauer und vollständiger der Ist-Zustand erhoben wird, desto reibungsloser verlaufen Planung und Ausführung. Dazu ist es von erheblicher Bedeutung, dass zwischen dem Auftraggeber und dem Dienstleister wesentliche inhaltliche Punkte bezüglich des Laserscannings festgelegt werden. Diese inhaltlichen Punkte

unterstützen sowohl die bedarfsgerechte Bestandserfassung als auch die Erwartungshaltung des Auftraggebers nach qualitativ hochwertigen Daten.

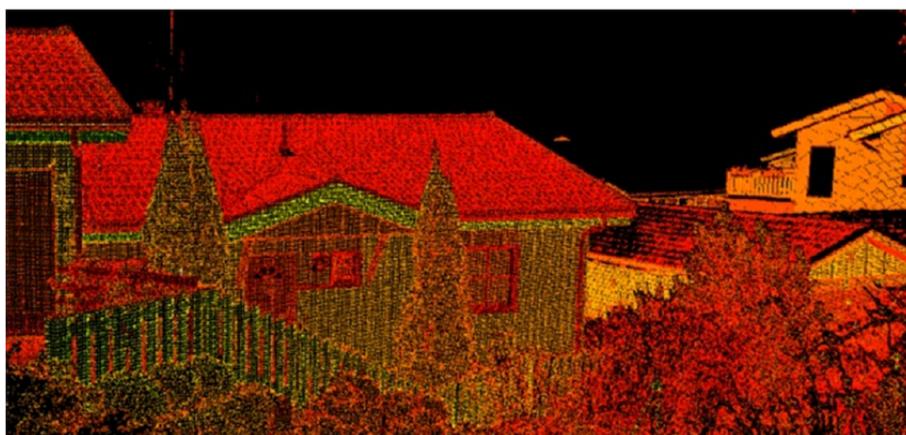
Die digitale Bestandserfassung von Bauwerken ist der erste Schritt, um bestehende Objekte, einer digitalen Bearbeitung zugänglich zu machen. Zu Beginn dieser Prozessphase steht als Input [A] die Erfassung aller verfügbaren Informationen zu einem Objekt, egal in welcher Form sie vorliegen. In der Regel sind dies Papierdokumente, Pläne, Befunde, Behördenunterlagen in sehr unterschiedlicher manchmal historischer Qualität. Alle diese Daten sind soweit erforderlich digital zu erfassen.

Bisweilen liegen Dokumente in frühen digitalen Formen, wie zB. als .pdf vor, die aber in dieser Form nicht maschinenlesbar sind und daher umzuwandeln sind, um einen weiterbearbeitbaren Datenbestand herzustellen.

Bei dieser Dokumentenanalyse ist auf Effizienz zu achten. In der Regel wird in kleineren Teilschritten vorgegangen, weil es oft nicht leistbar ist alle vorhandenen Dokumente in einem Schritt digital und weiterverarbeitbar zu erfassen.

Der zentrale Schritt von (1) ist die digitale Bestandserfassung über Laserscanning. Am Weltmarkt sind modernste Laserscanner unterschiedlicher Herkunft und Produktionsart verfügbar, die auch in Österreich häufig eingesetzt werden.

Als Ergebnis (Abb. 4.3) eines Scan-Vorgangs liegt eine 3D-Punktwolke vor. Jeder einzelne Punkt wird durch eine Position im Raum definiert. Die Position besteht aus je einem Wert für X-, Y- und Z-Koordinate.



**Abb. 4.3:** Ergebnis einer Scan-Vorgangs [35]

Die Genauigkeit der Messergebnisse bei einem Scannvorgang wird im Wesentlichen durch die Oberflächenbeschaffenheit des zu scannenden Objekts bestimmt.

Die größten Hersteller von Laserscannern, die für die Aufnahme der Bauwerke geeignet sind, sind wie folgt (Tab. 4.1)

Herstellerfirma	Herstellerland
High-Definition Surveying HDS, Leica Geosystems	Schweiz
Riegl	Österreich
Trimble mit Mensi*	USA & Deutschland
Faro mit iQsun*	USA & Frankreich
Zoller+Fröhlich mit Optech*	Deutschland & Kanada
Callidus	Deutschland

**Tab. 4.1:** Ausgewählte Hersteller von Laserscannern mit Herstellerland

\* Anmerkung: große Hersteller geodätischer Instrumente kauften sich bei kleinen Firmen ein, um deren Laserscanner mit in die Produktpalette aufzunehmen (Leica, Trimble, Faro)

Die Auswahl des terrestrischen Laserscanners erfolgt nach den Leistungseigenschaften wie Reichweite, Erfassungsgeschwindigkeit, Genauigkeit etc.

Nicht jeder Laserscanner ist für alle Aufgaben gleich gut geeignet. Daher sollte der für den jeweiligen Aufgabenbereich bestmöglich geeignete Laserscanner ausgewählt werden. Gleiches gilt für die Software.

Allerdings soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass es keine guten oder schlechten terrestrischen Laserscanner gibt, sondern lediglich für die jeweilige Aufgabe besser und schlechter geeignete Laserscanner.

Aus den Laserscan entstehen die Punktwolken der Objekte, die zunächst rein geometrischen Inhalt haben. Dabei ist wichtig, aus Sicht von Fachleuten darauf zu achten, dass nur wesentliche geometrische Daten in das künftige Bestandsmodell (BIM-Modell) übernommen werden. Bevor die Daten an die Projektbeteiligten und andere Disziplinen zum späteren Zeitpunkt ausgeliefert werden, müssen alle nicht-relevanten Daten und Informationen entfernt werden, um künftige Prozessschritte nicht damit zu belasten. Dieser Grundsatz gilt ganz allgemein.

Durch Integration mit alphanumerischen Daten aus der Dokumentenanalyse entstehen die Attribute, die geometrisch zugeordnet sind. Dieses attributierte BIM-Modell bildet die Datengrundlage für die kommenden Prozessschritte.

Als Output von (1) definiert die Grafik 4.1 :

- [B] den Dateninput für eine tiefere digitale Ingenieur-Analyse und später [D] für Umbau und Renovierung, oder über [E] direkt in den Betrieb
- [C] Den Dateninput für den Gebäudebetrieb, wenn keine weiteren Bauarbeiten zu diesem Zeitpunkt geplant sind. Dieser Schritt bedarf aber in vielen Systemen detaillierter Betrachtung und oft der spezifischen Nacharbeit.
- [I] die Daten der Punktwolke, die zum BIM-Modell und zur BIM-Planung führen. Dies ist heute die klassische Vorgangsweise.

Wichtig für den qualitätsvollen Output zur späteren universellen Verwendung ohne Nacharbeit ist die fach- und sachgerechte Erstellung der Leistung durch Architekten und Ingenieure, insbesondere was die Attributierung und grafische Darstellung betreffen.

Die Grafik 4.1 ist vereinfacht dargestellt. Die Prozessphase (3) Umbau, Renovierung entspricht von den Aktivitäten her der Prozessphase (8) Digitale Baustelle.

Zu jeder Prozessphase (Input, Output) geht die Diplomarbeit kurz auf die heute übliche Software (bisweilen spezielle Hardware) und mögliche Schnittstellenproblematiken ein.

## 4.2 Digitale Ingenieur-Analyse

Mit diesem Begriff werden weiterführende Untersuchungen bezeichnet, die dazu dienen technische und technisch-wirtschaftliche Informationen zu gewinnen.

Das heißt die Erfassung des Bestandes ist eine Sache, aber die Überführung der erzeugten Daten in weiterverarbeitbaren, interpretierbaren und aussagekräftigeren Daten, um diese so in den Planungsprozess zu integrieren, ist die andere Sache.

Unterzieht man ein Bestandsobjekt einer DIA, steigt die Qualität der Daten und damit die Wissenslage beträchtlich. Auch bisher konnte eine DIA ohne Einsatz digitaler Hilfsmittel durchgeführt werden. Durch die Digitalisierung steigt einerseits die Tiefe oder Genauigkeit der Erkenntnisse und andererseits wird sichergestellt, dass diese Erkenntnisse im weiteren Projektverlauf nicht verloren gehen, weil sie als Attribute im BIM-Modell verankert sind.

Typischerweise können die Digitale Ingenieur-Analysen gemäß [54] wie folgt zusammengefasst werden:

**Digitales Bestandsmodell** Die Herstellung eines **digitalen Bestandsmodells** mit anschließender Analyse der gewonnenen Daten. Dazu gehören

- ein digitaler Gebäudescan mit Erstellung eines 3D-Modells samt Attributierung soweit aus den Daten möglich,
- die Generierung von Bestandsplänen und Tragwerksmodellen sowie
- eine Konsensprüfung mit Darstellung allfälliger Abweichungen vom behördlichen Konsens.

Wo die Aussagekraft der Daten mangelhaft ist, wird sie durch persönliche Expertise und Erfahrung entsprechend ergänzt. Ergebnis ist eine Beurteilung des Bestandes aus den Daten und zugehörigen Dokumentation.

**Ingenieurbefund** Die Erarbeitung eines **Ingenieurbefundes**. Hier erfolgt eine detaillierte, technische Analyse des Gebäudes einschliesslich aller erforderlichen Aspekte aus Sicherheit und Umwelt. Typische Bestandteile eines Ingenieurbefundes betreffen

- Objekt (Statik, Konstruktion, TGA, Bauphysik),
- Umwelt (Baugrund, Schadstoffe, Erschütterungen),
- Sicherheit (Brandschutz, Barrierefreiheit),
- etc.

Das Ergebnis ist eine gutachterliche Stellungnahme aus der Hand von Experten, die einen detaillierten Status aus technisch-wirtschaftlicher Sicht ergibt.

**Beweissicherungen** Wenn erforderlich können **Beweissicherungen** vorgenommen werden. Diese können sowohl das eigene Objekt, als auch Nachbarobjekte und Umgebungssituation betreffen. Sie werden häufig durch digitale Beweissicherung mit entsprechenden IT-Tools unterstützt und erhärtet. Das Ergebnis ist eine gerichtsfeste Dokumentation.

**Dynamische Objektdokumentation** **Dynamische Objektdokumentation** im Sinne eines Bauwerksbuches und darüber hinaus als Grundlage von effizientem Asset-Management. Die Eingangsdaten stammen aus Expertenbegehungen und den CAFM-Daten. Liegt eine entsprechend vollständige As-Build-Dokumentation vor, bildet sie die Basis der dynamischen Objektdokumentation. Das Bauwerksbuch allein ist eine behördlich vorgeschriebene Dokumentation, erfüllt aber nicht alle technisch-wirtschaftlichen Erfordernisse aus Sicht von Nutzern und Betreibern.

Das Ergebnis ist jederzeit mögliche, aktuelle und vollständige Auskunft über den Bestand auf Basis laufend gepflegter, aussagekräftiger Daten und Benchmarks. Die Autoren der Fachschrift Digitale Ingenieuranalyse für den Projektstart nennen dasdynBAV - dynamic Built Asset Value

Der Vollständigkeit halber werden nun ein paar Inputs und Outputs genannt.

- Input [B] zu (2) sind die Daten der attributierten Punktwolke, oder auch ein BIM-Modell, wenn dieses schon zur Verfügung steht.
- Output [D] von (2) zu Umbau/ Renovierung (3) oder [E] zu Betrieb (4) sind zusätzliche Attribute, die im Wege der DIA gewonnen werden.

### 4.3 Umbau / Renovierung

Der Prozessschritt (3) ist aus dem Blickwinkel der Digitalisierung ident mit dem Prozessschritt (8) Digitale Baustelle und daher nicht gesondert abzuhandeln.

### 4.4 Digitaler Betrieb

Daten entstehen in der Planungs- und Errichtungsphase eines Gebäudes und werden in der Inbetriebnahme Phase vom Planer und Errichter an den Betreiber und Nutzer übergeben. Durch den zunehmend hohen Technisierungsgrad der Gebäude wird auch der Umfang der Daten zunehmend komplexer und somit der Dokumentationsaufwand größer. Trotz der Vielzahl von vorhandenen Daten und der digitalen Möglichkeiten, erfolgt die Daten- und Dokumentenübergabe [F] von der Errichtungs- in die Betriebsphase oftmals unzureichend und nicht in entsprechender Qualität.

Gemäß einem Interviewpartner herrscht hier entsprechend häufig Unzufriedenheit bei Betreiber bzw. Dienstleister. Die Betreiber kritisieren, dass sie bei der Übergabe des Objektes nicht jene Dokumente erhalten, die sie für den Betrieb des Objektes benötigen. An dieser Stelle macht sich das Fehlen übergreifender Standards schmerzlich bemerkbar, weil die derzeitige Normungslage die Bedürfnisse aus der Praxis nicht abdeckt.

Dabei wäre der Wunsch eines Gebäudebetreibers spätestens zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme bzw. der Übergabe eine caFM-gerechte digitale Dokumentation zu bekommen.

Abhängig von den im Gebäudebetrieb relevanten Prozessen werden unterschiedliche Anforderungen an Daten, Informationen, Dokumente und deren Inhalte beschrieben.

Grundsätzlich wird dabei in

- geometrischen Daten,
- alphanumerische Informationen und
- Dokumente

unterschieden.

Die geometrischen Daten in Form eines grafischen Modells werden im CAFM insbesondere zur Unterstützung des Flächenmanagements genutzt. Weiterhin dienen sie zur Visualisierung des Gebäudes. Im CAFM-System werden die 3D-Daten aus dem Modell als „flache“ 2D-Pläne dargestellt. Stand heute gibt es noch keine etablierten CAFM-Systeme am Markt, welche 3D Daten vollständig in ihre Anwendung integrieren können.

Von besonderer Wichtigkeit für das Facility Management sind nach wie vor die alphanumerischen Daten/Informationen wie z.B. Raum- und Flächenlisten, Türlisten, Anlagen- und Bauteillisten.

Grafische Modell Daten sind derzeit nur zweitrangig, weil aktuelle CAFM Systeme für die Aufgabenstellungen (z.B. Instandhaltungsplanung, Störungsmanagement und Reinigungsmanagement) nach wie vor mit rein alphanumerischen Daten betrieben werden können.

Neben grafischen und alphanumerischen Daten gibt es noch eine Vielzahl an Dokumenten die aus einem Bauprojekt heraus entstehen und für den Gebäudebetrieb von Bedeutung sind.

Daten, die für den Bau nötig sind und in das BIM-Modell aufgenommen werden oder Flächen, die sich aus dem BIM-Modell ableiten lassen, sind nur ein Teil dessen, was in der Betriebsphase und damit im CAFM gebraucht wird. Welche Informationen für den späteren Gebäudebetrieb erforderlich sind, sollte schon in den frühen Phasen eines Projektes festgelegt werden. Diese Vorgaben sollten daher in Form der Auftraggeber-Informationen-Anforderung - kurz AIA - zu jedem Projektbeginn erfolgen.

Die Umsetzung dieses Ansatzes ist derzeit nur sehr schwer möglich, weil genau solche Daten für ein BIM-Modell gar nicht relevant sind. Wenn sie trotzdem aufgenommen werden sollen, entsteht Mehrarbeit. Dennoch ist ein mit betriebsrelevanten Daten erweitertes BIM-Modell immer noch günstiger als eine nachträgliche Datenerfassung.

Mit der Datenübernahme in das CAFM-System direkt nach Fertigstellung des Gebäudes kann dieses mit Tag 1 der Betriebsphase seinen Nutzen entfalten und damit sind die anfänglichen Mehrkosten für die zusätzlichen Daten des BIM-Modells zügig wieder eingespielt.

Der Übergang von der Ausführung (oder Umbau bzw. Renovierung) in eine caFM-gerechte Dokumentation ist sehr personal- und kostenintensiv. Die Dokumentation beginnt offiziell in der Regel nach der Fertigstellung der Baumaßnahmen. Der Schwerpunkt liegt fast ausschließlich in

der Erstellung der As-Built Dokumentation. Diese wird sowohl elektronisch als auch in Papierform von jedem einzelnen Gewerk (mehrfache Ausfertigung) ausgehändigt.

Dabei muss die As-Built-Dokumentation stets aktuell und konsistent gehalten werden. Die konstruktiven Änderungen oder Anpassungen, die während der Errichtung auf der Baustelle entstehen, müssen in den entsprechenden Dokumenten eingepflegt werden.

Für den Betreiber eines Objektes kommt der Dokumentationsintegrität eine doppelte Rolle hinzu: Sie dient der Erfüllung von gesetzlichen Vorschriften und ist die Grundlage für den Instandhaltungs- und Investitionsplan.

Ein Output von (4) ist zwar in der Grafik 4.1 nicht vorhanden bzw. nicht mit einem Buchstaben versehen, dennoch gibt es ihn in der Praxis. Er richtet sich an die Nutzer und Betreiber. Die wesentlichen Outputs hierbei sind die Kennzahlen bzw. Benchmarks des Objektes, die Eingang in die Lebenszyklus-Regelkreise finden.

## 4.5 Digitale Due Diligence

Bei der Due Diligence geht es um die Bewertung von Objekten bei Eigentumsübergang, also Kauf und Verkauf. Dies geschieht durch Gutachterteams auf beiden Seiten, die den Zustand und Wert des Objekts jeweils aus ihrer Sicht beurteilen. Auf Basis dieser Beurteilungen wird dann der Kaufpreis ausgehandelt. Zusätzlich können noch Maßnahmen auf der einen oder anderen Seite vereinbart werden, die zu erfüllen sind.

Wenn durch die Digitalisierung erreicht wird, dass ein Gebäude zu jeder Zeit „weiß“ in welchem Zustand es sich befindet und damit, wie viel es im Augenblick Wert ist, kann bei einer digitalen Due Diligence im Vergleich zu einem herkömmlichen viel an Effizienz gewonnen und Geld eingespart werden [51].

## 4.6 BIM-Modellierung / BIM-Planung

Die Digitale Projektabwicklung ist eine Integrationsplanung in 3D zwischen Architekt, Tragwerksplaner und Fachplaner. Dadurch sollen Fehler bzw. Störungen in der Planung, in der Planungscoordination und bei Erstellung des Bauwerks weitgehend vermieden und optimale Voraussetzungen für den Betrieb des Gebäudes geschaffen werden.

Damit diese Prozessphase reibungslos funktioniert müssen die Leistungen zur Erstellung, Pflege und Aktualisierung der Gebäudemodelle als Basis für den digitalen Planungsprozess und daraus abgeleitete Anwendungen beschrieben werden.

Zu Beginn dieser Prozessphase steht als Input [HA] die Festlegung aller erforderlichen Informationen, um die Ziele für ein mit BIM umzusetzendes Projekt zu erreichen.

In der Regel ist das Ziel eines mit BIM umzusetzendes Projekt, ein interdisziplinär erstelltes dreidimensionales Gebäudemodell, um dadurch

- die Planungsqualität frühzeitig zu erhöhen,
- die Koordination und Zusammenarbeit zu verbessern,
- sowie über einen definierten Datenbestand in der Nutzungsphase zu verfügen.

Um die Ziele des Auftraggebers zu erreichen müssen folgende Fragen gestellt werden.

- Wann,
- in welchem geometrischen und alphanumerischen Detaillierungsgrad,
- in welchem Format,
- für welchen BIM-Anwendungsfall und
- von welchem Planer

sollen die geforderten Daten geliefert werden?

Basierend auf den Vorgaben der AIA sind die projektspezifischen Festlegungen in einem BIM-Abwicklungsplan (BAP) [HB] zu detaillieren. Da die Planung anhand virtueller Gebäudemodelle erfolgt und der Detaillierungsgrad und Umfang der Modelle phasenabhängig sind, werden diese gemeinsam mit den Fachplanern nach den Erfordernissen des Projekts bei Projektbeginn festgelegt. Es bildet die Grundlage für die Überprüfung der zu liefernden Dokumente auf Vollständigkeit.

Wie anfangs erwähnt ist die digitale Bestandserfassung (1) von Bauwerken der erste Schritt, um bestehende Objekte, einer digitalen Bearbeitung zugänglich zu machen.

Es genügt daher nicht nur die geometrischen Gegebenheiten zu erfassen und zu liefern, sondern es müssen vielmehr auf die bautechnischen Gegebenheiten hinsichtlich Konstruktion und TGA eingegangen werden. Deshalb sollten die Aufnahmen des Objektes für eine sach- und fachgerechte Lieferung der Daten stets von baukundigen Fachleuten, wie Architekten oder Ingenieure durchgeführt werden.

Zu Beginn dieser Prozessphase steht als Input [A] die Erfassung aller verfügbaren Informationen zu einem Objekt, egal in welcher Form sie vorliegen. In der Regel sind dies Papierdokumente,

Pläne, Befunde, Behördenunterlagen in sehr unterschiedlicher und manchmal historischer Qualität. Alle diese Daten sind soweit erforderlich digital zu erfassen.

Als Output von (6) definiert die Abbildung 4.1 :

- [G] den Dateninput für eine Digitale Bauwirtschaft (10) - über Ausschreibung, Vergabe, Vertrag bishin zur Abrechnung;
- [J] den Dateninput für den Gebäudebetrieb (4), trifft nur zu, wenn das BIM-Modell nur für Erkenntnisse und Optimierungen im Betrieb herangezogen werden;
- [K] die Daten und Informationen aus der BIM-Planung für die Digitale Baustelle (8);
- [L] die Daten und Informationen aus der BIM-Planung für das Digitale Behördenverfahren.
- [L] die geometrischen Daten zur Visualisierung für die Vermarktung.

Für die Outputs [G]&[K] müssen die BIM-Modelle so ausgereift und optimiert sein, dass Bau und Betrieb - im Sinne einer hohen Sicherheit von Kosten, Termin und Qualität - vollständig und detailliert abgebildet sind.

Diese Informationen und Daten müssen geeignet sein für

- die Ausschreibung,
- den Bau,
- den Betrieb und
- die Abrechnung

des Projektes.

Für [G] müssen die Daten aus der BIM-Planung einer vordefinierten, genormten Datenstruktur folgen und sollten vollständig maschinenlesbar sein.

Mit [K] können unterschiedliche Fachmodelle (z. B. für den Rohbau, das Baugelände, die Baustelleneinrichtung etc.) mit den geplanten Vorgängen im Bauzeiten- und Terminplan verknüpft und in zeitlich-räumliche Abhängigkeiten der Bauprozesse (8) visualisiert und optimiert werden.

Für die Übergabe der Daten [J] direkt an den Betreiber (4) müssen die BIM-Daten des „As-Built-Modell“ als bereinigtes FM-Modell dem Betreiber zur Verfügung gestellt werden.

## 4.7 Digitales Behördenverfahren

In der Regel ist für die Errichtung, die Änderung und die Nutzungsänderung von baulichen Anlagen eine Baugenehmigung erforderlich.

Mit der digitalen Baueinreichung (7) eröffnen sich neue Wege. Besonders das Internet hat zu einem qualitativen Fortschritt in der Kommunikation zwischen Amt und Bürgern beigetragen. Die öffentliche Verwaltung bietet bei einer steigenden Zahl von Amtswegen bereits alle Verfahrensschritte vom Antrag bis zur Erledigung eines Anliegens online an.

Auch Bewilligungsverfahren werden in wenigen Jahren ausschließlich über digitalen Datentransfer laufen. Es werden BIM-Modelle digital eingereicht, digital geprüft und digital freigegeben [L]. Bescheide und sonstige Schriftstücke müssen nicht mehr auf dem Postweg zugestellt werden, sondern werden auf dem digitalen Weg [L] ausgestellt.

Davon betroffen sind auch unternehmensinterne Bewilligungsverfahren und Entscheidungsläufe. Diese werden ebenfalls rein digital ablaufen.

## 4.8 Digitale Baustelle

BORRMANN schildert die momentane Situation der digitalen Baustelle im Vorwort seines Buches [12] folgendermaßen:

Das Bauwesen unterliegt heute enormen Anforderungen. Immer komplexere Bauvorhaben müssen in immer kürzerer Zeit realisiert werden. Gleichzeitig erzeugt der starke Wettbewerb in der Branche einen deutlichen Kostendruck. Diesen Anforderungen wird die Bauindustrie nur durch eine Steigerung der Effizienz bei der Planung und Abwicklung von Bauvorhaben begegnen können. Im Augenblick muss jedoch konstatiert werden, dass die im Bauwesen erreichte Prozessqualität, vor allem hinsichtlich Termintreue und Kostensicherheit, stark hinter der anderer Branchen zurückbleibt.

Die Gründe hierfür sind vielfältig und liegen zum einen in den schwierigen Rahmenbedingungen, denen die Bauindustrie unterliegt, darunter die Fertigung von Unikaten, die Abhängigkeit von Witterungseinflüssen, die starke Fragmentierung der Branche und die ausgeprägte Segmentierung entlang der Prozesskette. Zum anderen lässt sich aber eine im Vergleich mit anderen Industriezweigen nur sehr eingeschränkte Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien beobachten. Zwar werden für spezifische Teilaufgaben bereits ausgereifte Softwareprodukte eingesetzt, vor allem in der Verbesserung des Datenflusses und damit in der Weiterverwendung

bestehender digitaler Daten, jedoch besteht erhebliches Potenzial für eine Effizienz- und Qualitätssteigerung.

Ziel ist es ein komplexes Bauvorhaben ganzheitlich in einem digitalen Baustelleninformationsmodell abzubilden – der Digitalen Baustelle – die in allen Projektphasen als zentrales Planungsinstrument zur Verfügung steht.

Werden Daten direkt auf der Baustelle digital erfasst oder Ressourcen und Material von der Baustelle aus gesteuert, sind Mehrfacheingaben, unterschiedliche Datenstände und Terminverzögerungen zu vermeiden. Mit mobiler Hard- und Software sowie drahtloser Kommunikation werden Infos genau dort eingegeben oder abgerufen, angezeigt oder modifiziert, wo sie anfallen oder benötigt werden. Mit dem Einsatz von Mobile Computing<sup>1</sup> sind digitale Prozesse auf der Baustelle bereits möglich – von der Auftragserfassung über die Planung und Ausführung bis zur Realisierung.

Das digitale Modell aus der Planung [K] wird während der Ausführungsphase immer wieder mit neuen Daten und Erkenntnisse angereichert, sodass es bis zur Übergabe und Übernahme (9) automatisch als fertiges „As-Built-Modell“ [F] zur Verfügung steht.

Ein weiterer Teil der digitalen Baustelle sind smarte Werkzeuge, Maschinen und Geräte, aber auch Baustoffe und Bauteile sowie deren Vernetzung. Sie helfen, die erbrachten Leistungen, verbauten Materialien und Bauteile über die gesamte Bauzeit zu dokumentieren und in das BIM-Modell der Planer zurückzumelden. Das geschieht halbautomatisch per mobiler Hardware oder mittels automatisierter Identifikation und Datenerfassung [37].

Die Möglichkeiten reichen von

- der Steuerung von Bau- und Montageprozessen,
- der Echtzeitverfolgung von Bauteilen (Lieferung, Lagerung, Einbau),
- Abnahmen oder Leistungsverfolgungen über die Geräte- und Maschinenverbuchung,
- die Wartungs- und Instandhaltungskontrolle,
- die Rückverfolgbarkeit eingebauter Materialien bis hin
- zur Abbruchplanung.

Einen Schritt weiter geht das „Internet der Dinge“ (Internet of Things, IoT).

---

<sup>1</sup>Mobile Computing ist eine Art der Mensch-Maschine-Interaktion, bei der das verwendete Gerät während des Gebrauchs transportabel ist.

IoT kann dabei wie folgt definiert werden:

Der Begriff “Internet of Things” (übersetzt: “Internet der Dinge”) bezeichnet die zunehmende Vernetzung zwischen “intelligenten” Gegenständen sowohl untereinander als auch nach außen hin mit dem Internet. Verschiedene Objekte, Alltagsgegenstände oder Maschinen werden dabei mit Prozessoren und eingebetteten Sensoren ausgestattet, sodass sie in der Lage sind, via Internet miteinander zu kommunizieren [27].

Das ermöglicht unter anderem eine wechselseitige Abstimmung von Geräten und Maschinen untereinander – etwa zur Optimierung von Wegen, Abläufen oder des Material- und Energieverbrauchs [37].

Technologien wie BIM, IoT, Mobile und Cloud Computing<sup>2</sup> oder auch die Robotik werden Baustellen nachhaltig verändern und rücken folgende Szenarien auch hierzulande in greifbare Nähe [37] :

Erst nachdem das Bauvorhaben mithilfe intelligenter, wissensbasierter Kontroll- und Simulationssysteme wirtschaftlich, bautechnisch, statisch, haustechnisch, bauphysikalisch und energetisch optimiert auf der virtuellen Baustelle als „digitaler Zwilling“ erstellt und die meisten Fehler im Vorfeld beseitigt wurden, beginnt die Bauausführung. Auf Basis des digitalen Modells werden Materialien und Bauteile bestellt, just in time an die Baustelle geliefert und von Kran- und Transportrobotern an den Montageort befördert.

Anschließend werden die Teile von Montagerobotern identifiziert, positioniert und eingebaut (siehe Abb. 4.4). Alle Planungs- und Bauabläufe werden dokumentiert und überwacht. Durch die Vernetzung der Daten können jederzeit Änderungen vorgenommen und sowohl Bauabläufe als auch das Bauobjekt optimiert werden. Jede Änderung am BIM-Modell hat zugleich eine Veränderung damit verknüpfter Vorgänge und Abläufe zur Folge, woraus Handlungsanweisungen für alle Beteiligten abgeleitet werden.

---

<sup>2</sup>Nutzung von IT-Infrastrukturen und -Dienstleistungen, die nicht vor Ort auf lokalen Rechnern vorgehalten, sondern als Dienst gemietet werden und auf die über ein Netzwerk (z. B. das Internet) zugegriffen wird

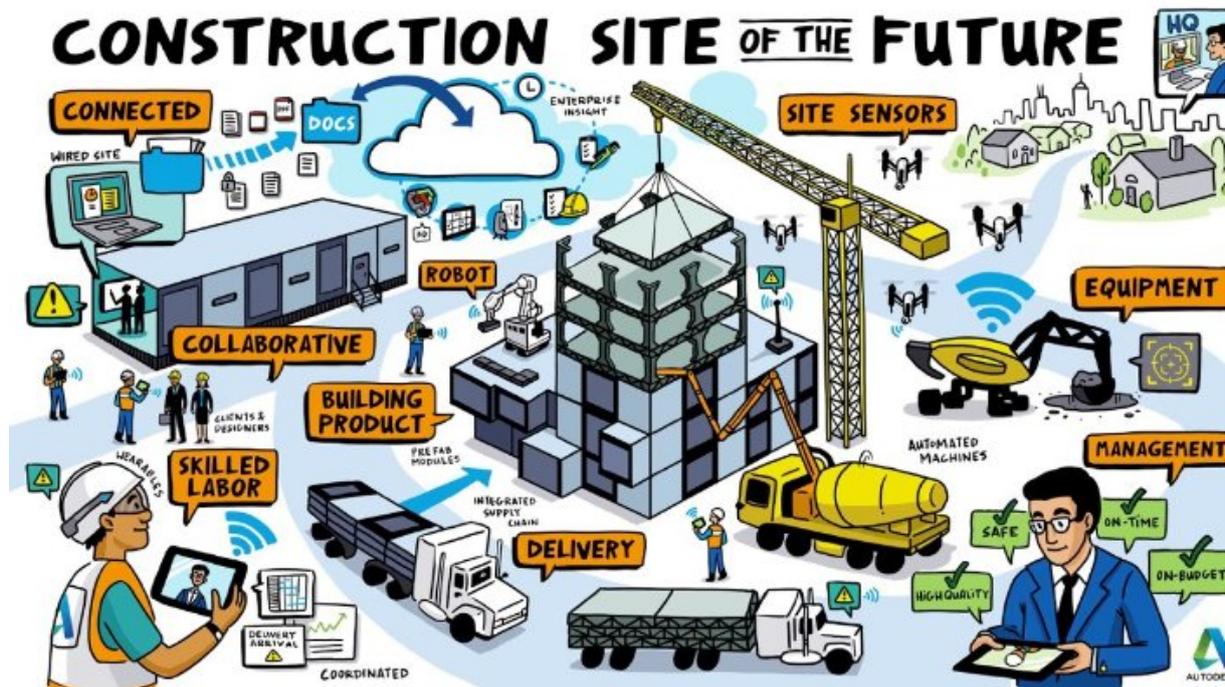


Abb. 4.4: Zukunft der digitalen Baustelle [55]

## 4.9 Übergabe - Übernahme

Am Ende eines Bauprojekts erhält der Bauherr die Schlüssel und ein Facility Manager (FM) typischerweise ein Bündel aus Dokumenten und Unterlagen [F], sei es virtuell oder physisch, gefüllt mit Informationen und Daten. In dieser Sammlung aus Dokumenten und Unterlagen sollten unter anderem Erläuterungen zur Gebäudeinstandhaltung, zur Gewährleistungsfristen, zur Sicherheitsbetriebsanleitung und zu den Anlagenlisten enthalten sein. Diese Informationen liegen in allen möglichen Formaten vor, einschließlich Papier und digitalen Medien wie CDs und USB-Sticks [58].

Es besteht zudem noch die Gefahr, dass bei der Übergabe dieser Daten wichtige Informationen verloren gehen bzw. nicht geliefert werden. Fehlen diese Informationen, so wird sehr viel wertvolle Zeit damit verbracht, betriebsrelevanten Projektinformationen aufzuspüren. Hinzu kommt noch, dass diese Informationen oft ungenau oder unvollständig sein können. Im schlimmsten Fall können diese Daten gar nicht wiederhergestellt werden.

Das Early Involvement (12) von Betreibern in den Phasen, Entwicklung, Planung und Bau ist daher entscheidend für die Nutzerqualität. Es gilt dabei aber auch die Grundregel: Nutzer und Betreiber müssen ihre Erfahrungen und Erkenntnisse offen und systematisch den wesentlichen Stakeholdern bereitstellen [23].

Das Ziel ist das Zusammenstellen der Unterlagen, die für eine ordnungsgemäße Benutzung des Bauwerkes erforderlich sind.

Solche Unterlagen sind z. B.:

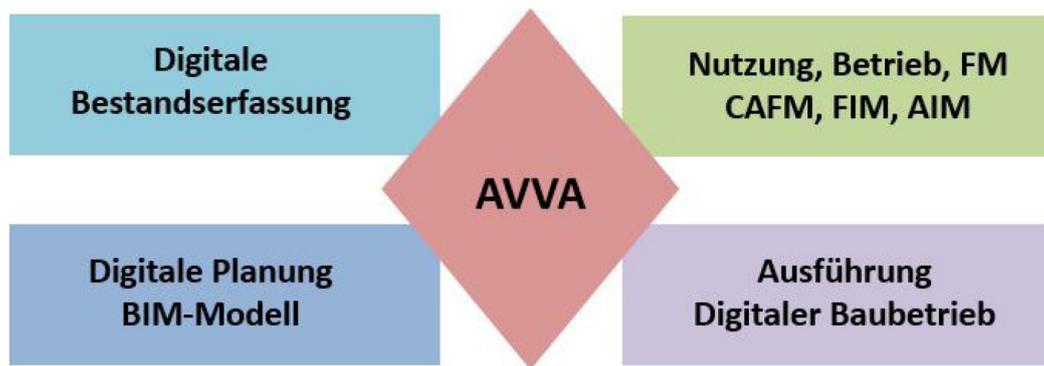
- Verlegepläne der Installation, Bewehrung etc.
- Technische Abnahmebescheinigungen
- Prüfprotokolle
- Zulassungen, Genehmigungen
- Zertifikate und Brauchbarkeitsnachweise
- Bedienungsanleitungen
- Revisionspläne

Es ist erforderlich, den Umfang, die Qualität, die Struktur und die Datenformate zu Beginn der Phasen Planung bzw. Bau festzulegen.

## 4.10 Digitale Bauwirtschaft / AVVA

Die Digitalisierung des Bauwesens ist voll angelaufen. Sie konzentriert sich derzeit auf BIM in der Planung, digitale Bestandserfassung und CAFM. Zunehmend erfasst sie den Baubetrieb auf der Baustelle [52].

Das „Digitale Bauprojekt über den gesamten Lebenszyklus“ einschliesslich Lebenszyklus-Kosten-Management hält Schritt für Schritt Einzug in die Praxis, auch wenn noch viel Forschungsbedarf besteht und einige Pilotprojekte erforderlich sein werden [52].



**Abb. 4.5:** AVVA als das zentrale technisch-wirtschaftliche Element aller Projekte des Bauwesens [52]

Nach der Abbildung 4.5 ist die AVVA (Ausschreibung, Vergabe, Vertrag und Abrechnung) die zentrale technisch-wirtschaftliche Prozesskette jedes Projekts.

In der Literatur wird AVVA folgendermaßen beschrieben [52]:

Das technisch-wirtschaftliche Herzstück von alledem ist AVVA – Ausschreibung, Vergabe, Vertrag, Abrechnung; ganz bewusst nicht AVA, denn wie soll man ohne Vertrag abrechnen? Das Vertrags-Management, die Vertrags-Abwicklung ist ein zentraler Prozess, vielleicht sogar „der zentrale Prozess“. Nicht zuletzt, weil im Vertragsmanagement aller Verträge alle Fäden zusammenlaufen und hier die technisch-wirtschaftlichen Steuerungsmassnahmen ansetzen müssen [52].

In diesem Prozess geht es um maßgebliche Risikoübergänge zwischen den Projektbeteiligten [23].

In der Regel stehen nach abgeschlossener Planung (6) und durchgeführtem Behördenverfahren wesentliche Ausschreibungen und Vergaben an. Die Vergabe der Aufträge an die ausführenden Firmen erfolgt bei den meisten Projekten über ein so genanntes Ausschreibungsverfahren.

Hierzu wird zunächst die erforderliche Mengenermittlung der Leistungen durchgeführt und anschließend mit einer konkreten Leistungsbeschreibung in einem so genannten Leistungsverzeichnis zusammengefasst. Das Leistungsverzeichnis dient dazu, Angebote verschiedener Firmen objektiv vergleichen zu können und zu bewerten. Basierend auf diesem Leistungsverzeichnis werden Angebote verschiedener Firmen eingeholt, in Übereinstimmung mit dem Leistungsverzeichnis geprüft, bewertet und gegebenenfalls verhandelt.

Die Angebote werden danach mittels eines Preisspiegels verglichen. Dieser Kostenvergleich dient zusammen mit dem Ergebnis der Verhandlungen als Entscheidungsgrundlage für die Vergabe der Aufträge durch die Auftraggeber.

Die beiden Tätigkeiten bergen aus Sicht der Digitalisierung einige schwierige Hürden. Dabei wird von „echten digitalen Vergaben“ ausgegangen, in denen nicht nur digitale Pläne (.pdf, .dwg-Formate) elektronisch ausgetauscht werden, sondern tatsächlich BIM-Modelle transferiert bzw. zur Bearbeitung zur Verfügung gestellt werden.

Diese schwierigen Hürden sind:

- der offene Wettbewerb, wie in Auftraggeber brauchen (volle Markttransparenz, keine Absprachen),
- der Vertrauensschutz, wie in Bieter brauchen (d.h. keine Weitergabe von Angebotsinhalten) sowie
- freier, leistbarer Marktzugang für kleine und mittlere Unternehmen.

Aufgrund der thematischen Ausrichtung dieser Arbeit kann auf AVVA im Folgenden nicht detaillierter eingegangen werden.

## 4.11 Planung, Prognose, Management, Controlling

Die Prozesse (11) und (12) stellen den kybernetischen Regelkreis dar, der die Gesamtsteuerung und Gesamtoptimierung von Bauprojekten über alle Phasen ermöglichen wird, sobald die digitalen Datenketten geschlossen sind und die Prozesse dieser Datenketten auch sinnvoll nützen.

Der Ast (11) bildet dem nach hinten gerichteten Prognoseast ab. Es geht darum aus vorhandenen Kennzahlen, Erkenntnissen und Erfahrungen bisheriger Projekte für neue Projekte zu lernen [51].

Dies ist ein in der Planung auch heute bereits üblicher Prozess. Planer nützen ihre Erkenntnisse und Erfahrungen aus früheren Projekten um das kommende Projekte noch besser zu planen.

Gleiches gilt für Projektmanager und Ausführende.

Auch in der Kostenplanung und Kostenoptimierung spielt dieser Prozess eine wesentliche Rolle. Wichtig ist dabei, dass die Lebenszykluskosten optimiert werden, und nicht nur, wie heute meist üblich, die Errichtungskosten [51].

Der Prozess (11) ist charakterisiert durch eine ständige Rückkopplung SOLL-IST auf Grundlage der letztgültigen Informationen. Damit wird das SOLL permanent verbessert [51].

So geht die Prognose in das Controlling über.

## 4.12 Benchmarks, Early Involvement

Der Ast (12) bildet den nach vorne gerichteten Ast der Benchmarks und Rückkopplung ab. Gemeinsam bilden (11) und (12) den Regelkreis, oder ein Set an Regelkreisen zu unterschiedlichen Themen.

Ohne die Rückkopplung kann es keine gute Planung und Prognose geben. Die konsequente Rückkopplung ist die künftige Antwort auf die heute of unterbrochene Lernkurve des Bauwesens [51].

Damit die Benchmarks eine entsprechende Aussagekraft haben, sind sie entsprechend zu errechnen und in verallgemeinerter und entfremdeter Form zur Verfügung zu stellen. Nur Kennzahlen, die man beurteilen kann, haben einen Wert.

Ein Element der Rückkopplung ist die Rückspeisung des Wissens aus den späten Projektphasen (Betrieb und Bau, auch Projektende z.B. durch Data-Mining) in die frühen Phasen Entwicklung und Planung. Dieses in manchen Ländern, wie UK übliche „Early-Involvement“ wird zunehmend ein Thema, wenn es um Projektabwicklungsmodelle und Vergabestrukturen geht [51].

Ohne durchgängige Datenketten nach einheitlichen Standards werden die Regelkreise nicht zustande kommen. Kommen die Datenketten und Regelkreise zustande, werden sie hohen Nutzen stiften [51].

# Kapitel 5

## Fall A -Der Weg vom Bestandsobjekt zum BIM-Modell

### 5.1 Bestandserfassung via Laserscan

Viele heutige Hochbauprojekte sind Renovierungen oder Sanierungen, bei denen es an aktuellen Bauunterlagen mangelt. In solchen Situationen kann der Laserscanner die erforderlichen Informationen über den vorhandenen Gebäudezustand mit der für die Bauplanung erforderlichen Genauigkeit liefern [19].

Wird zudem das Laserscanning während des gesamten Bauprojekts eingesetzt, so verfügt das Bestandsobjekt am Ende über eine Bestandsdokumentation aller wichtigen Informationen des Projekts. Damit wird ein Überblick darüber geschaffen, was sich zum Beispiel hinter den Wänden, über den Decken und unter den Bodenplatten befindet. Diese Art von Informationen können teilweise für die Eigentümer während des gesamten Lebenszyklus des Gebäudes sehr nützlich sein.

In der heutigen Zeit gibt es viele Altbauten, die vor mehr als 50 Jahren gebaut wurden. Wie anfangs erwähnt sind bei Renovierungen oder Ergänzungen eines solchen Bauwerks Zeichnungen oft veraltet oder existieren einfach nicht. Dies erschwert die Planung jeder Art von Renovierung oder Erweiterung. Wenn eine Gebäudesanierung oder -renovierung auf der Grundlage veralteter oder unvollständiger Zeichnungen geplant wird, werden Fehler „eingeplant“. Diese Fehler werden bis zur Bauphase völlig unsichtbar sein, welche dann nur sehr teuer und zeitaufwendig zu beheben sind.

Mit der Digitalisierung der Bauindustrie durch den Einsatz von BIM-Methode haben sich Lösungen, wie Bestandsaufnahme mittels Laserscanner, etabliert. Diese sind im Vergleich zu herkömmlichen Lösungen nachhaltig, nützlich, präzise und sicher.

Die ursprüngliche Vermessung basierte viele Jahre hauptsächlich auf der Aufnahme von Einzelpunkten mit Hilfe eines Theodolits (siehe Abb. 5.1) oder Tachymeters. Hierbei werden Horizon-

talrichtungen und Vertikalwinkel zu vordefinierten Punkten gemessen. Bei der tachymetrischen Aufnahme erfolgt zusätzlich eine Distanzmessung.



**Abb. 5.1:** Theodolit DT- 405 mit optischem Lot von Nestle [57]

Eine Lösung bei BIM-Modellierung bestehender Gebäude ist der Einsatz von terrestrischen Laserscan, kurz TLS.

Beim terrestrischen Laserscanning (siehe Abb. 5.2) erfolgt die Aufnahme durch eine Vielzahl von Einzelmessungen von einem Standpunkt aus. Dabei wird mit Hilfe von Sensoren für die Entfernungs- und Winkelmessung die gesamte erkennbare Oberfläche eines Objekts rasterförmig abgetastet. Das Ergebnis setzt sich aus einer detailreiche Punktwolke mit x,y,z-Koordinaten, welche aus vielen Millionen Punkten besteht, zusammen. Aus der gemessenen Punktwolke kann im Nachgang ein dreidimensionales Modell erstellt werden, welches das gesamte Objekt darstellt [60].



**Abb. 5.2:** Laser Scanner Focus S 150 von Faro [39]

Die Nutzung der Punktwolken Daten als Quelle für BIM und der Ersatz der mehrdeutigen, unsicheren und fehleranfälligen Methoden der konventionellen Messung könnte dem Gebäudebestand einen enormen Vorteil verschaffen [19].

## 5.2 Ziele der Bestandserfassung

Die klare Definition der Auftraggeberanforderungen ist Voraussetzung für eine erfolgreiche Erfassung. Die Bauherren sollten bestrebt sein, ihre Erwartungen vollständig zu klären, insbesondere in Bezug auf Inhalt, Detaillierungsgrad, Format und Genauigkeit der erforderlichen Aufnahme [19].

Die Ziele und die Zielvorgaben des Auftraggebers zu verstehen gehört zu den Schlüsselfragen, wenn es darum geht, ein Objekt aufzunehmen. Um die Bedürfnisse des Auftraggebers vollständig zu verstehen, müssen einige Fragen beantwortet werden.

Nachfolgende werden hier mögliche Fragen aufgelistet.

- Wie sollen die 3D Daten ermittelt werden (Laserscan, Photogrammetrie)?

- Warum möchte der Auftraggeber dieses Objekt aufgenommen haben und was will er/sie mit den gesammelten Daten tun?
- Welche Daten aus dem 3D-Modell werden überhaupt benötigt?,
- Wann werden welche Informationen benötigt?
- Wer benötigt welche Informationen?
- Wie wird mit Änderungen während des Bauablaufs an dem Objekt umgegangen?
- In welchem Format werden die Daten gespeichert und weitergegeben?

Diese Fragen sind vor der Erstellung der Bestandsaufnahme bereits zu beantworten.

### 5.3 Hintergründe

JENS erklärt in seiner Masterarbeit [34] die Hintergründe zur Nutzung der digitalen Bauaufnahme im Bauwesen, wie folgt.

Bei neuen Bauwerken hat die Entwicklung mit dem Begriff BIM einen neuen Höhepunkt erreicht. Die komplette digitale Gebäudemodellierung aller relevanten Bauwerksinformationen und die Kombination und Vernetzung von allen technischen Teilbereichen hat die Projektplanung optimiert, bündelt alle notwendigen Informationen in einer Hand und macht sie allen Projektbeteiligten verfügbar und zur Bearbeitung zugänglich.

Im weiteren Lebenszyklus eines Gebäudes ist die Integration allumfassender Lösungen weitaus weniger vorangeschritten und besteht aus „angepassten“ Teillösungen [18].

Dies betrifft insbesondere die Planungsarbeiten, die bei Bestandsbauwerken anfallen. Das Instandsetzen, Renovieren, Sanieren, Anbauen, Umbauen oder auch das Rückbauen erfordert jedoch zuverlässige Aussagen über die Bestandssituation, bestenfalls ebenso gebündelt und in Beziehung gesetzt. Die Grundlage für einen Projekt-Datensatz ist hierbei zuerst einmal ein bestenfalls maßstabsgetreues, geometrisches Modell, welches aus analogen Bestandsplänen hergeleitet werden kann.

Eine Kombination von photogrammetrischer Aufnahme, tachymetrischer Vermessung oder Laservermessung und softwareunterstützter Verarbeitung kann dabei sehr sinnvoll sein. Der Hauptfokus hierbei liegt bei der Aufnahme von Daten und deren Weiterverarbeitung über die Schnittstelle zwischen Rohdaten und Modellierungs- und Zeichensoftware.

## 5.4 Terrestrischer Laserscan - TLS

Die folgende Grafik 5.3 zeigt die wichtigsten Schritte eines Laserscanningsprozesses:



**Abb. 5.3:** Verlauf des terrestrischen Laserscannings [29, S. 37]

Laserscanning ist der Prozess der Aufzeichnung präziser dreidimensionaler Informationen über ein reales Objekt oder eine reale Umgebung. Terrestrische Laserscanner sind bodengebundene Geräte, die zum Scannen in einer Vielzahl von Maßstäben verwendet werden können, von sehr kleinen Objekten bis hin zu sehr großen Denkmälern oder ganzen Orten. Laserscanner erfassen oder scannen schnell die Form der Oberflächenaufnahme eines Objekts. Die Informationen werden als eine dichte Sammlung von genau gemessenen XYZ-Punkten, die als Punktwolke bezeichnet werden, an die Einheit zurückgegeben.

Punktwolken, die von Laserscannern erzeugt werden, enthalten eine Fülle von Informationen. Sie werden auch zu präzisen 3D-Modellen von Objekten und Umgebungen verarbeitet, die für eine Vielzahl von Anwendungen nützlich sind. Die drei Haupttypen der terrestrischen Laserscanning-Technologie werden im Folgenden erläutert.

Zu den drei Haupttypen der Scantechnologie gehören

- Impulslaufzeitverfahren,
- Phasenvergleichsverfahren,
- Triangulation.

Die Distanzmessung erfolgt bei allen Laserscannern mit Hilfe des Impulslaufzeit- oder Phasenvergleichsverfahren. Dabei erreicht das Impulslaufzeitverfahren (siehe Abb. 5.4) auf Distanzen bis zu mehreren hundert Metern eine Genauigkeit von etwa einem Zentimeter. Das Phasenvergleichsverfahren (siehe Abb. 5.5) findet vorwiegend bei kürzen Entfernungen Anwendung. Dieses erreicht jedoch eine Genauigkeit von wenigen Millimetern [60].

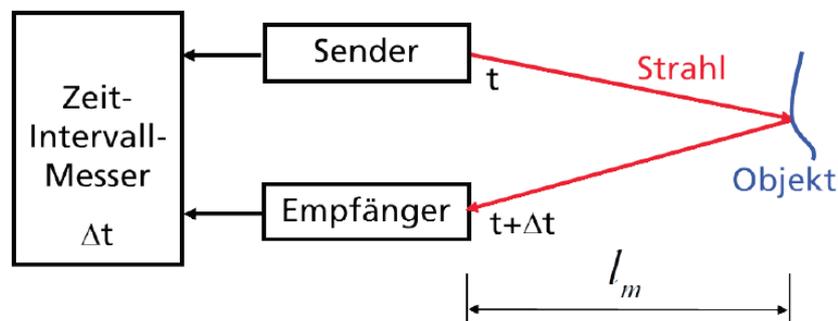


Abb. 5.4: Das Prinzip der Distanzmessung auf Basis von Lichtlaufzeit <sup>1</sup>

Phasenvergleichs-Scanner werden oft als „Schnellste“ eingestuft, da einige Instrumente über 100.000 Punkte/Sekunde scannen. Zudem haben sie eine maximale Reichweite von 80 Metern.

Daher eignen sich die Impulslaufzeit- oder Phasenvergleichsverfahren bei Aufnahmen von größeren Flächen oder Strukturen von 5 Metern bis zu mehreren Kilometern.

<sup>1</sup>Terrestrisches Laserscanning 2017 - dvw

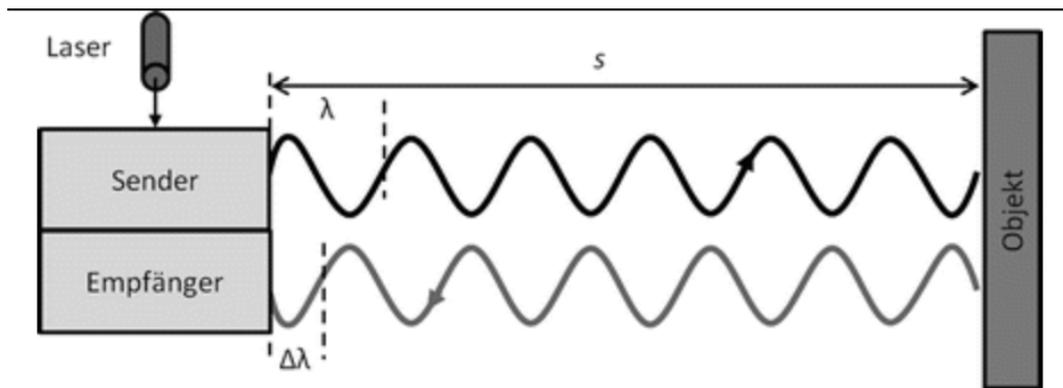


Abb. 5.5: Das Prinzip des Phasenvergleichs [56]

Triangulationsscanner (siehe Abb. 5.6) hingegen haben aufgrund des begrenzten Sichtfeldes zwischen Laser und Kamera typischerweise eine Reichweite von weniger als 5 Metern. In der Regel wird Triangulation im Nahbereich eingesetzt. Dieses Verfahren eignet sich am besten für das Scannen kleinerer Objekte mit einer Größe von 1 cm bis zu 2-3 Metern [19].

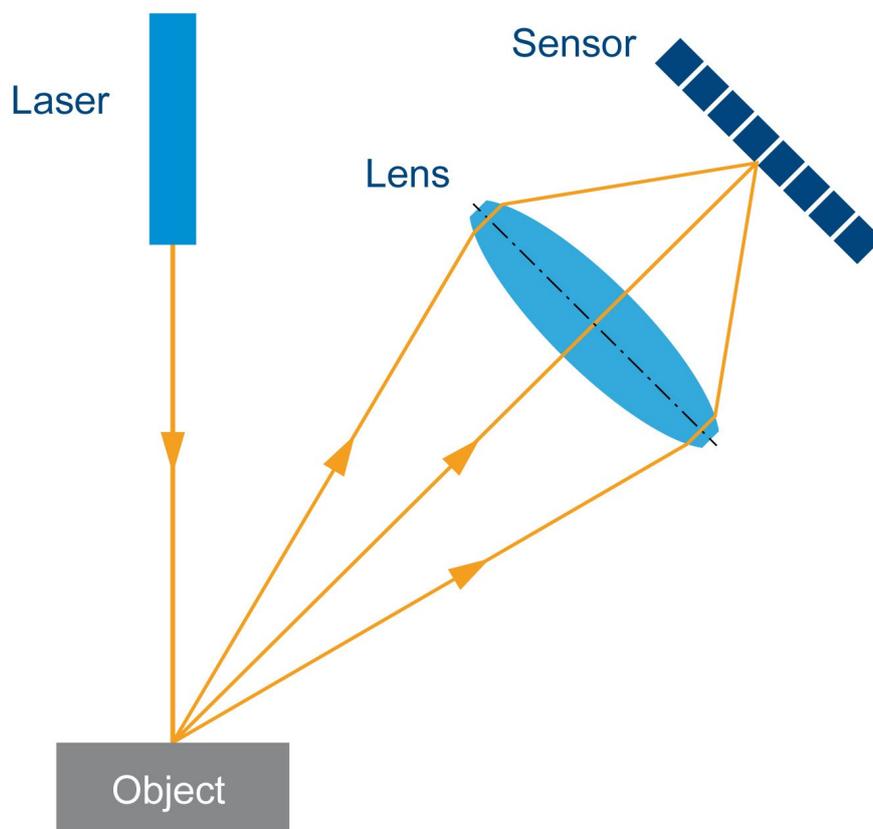


Abb. 5.6: Das Prinzip der Triangulation [8]

Eine Reihe von Faktoren beeinflussen die Genauigkeit der Punktwolkendaten, einschließlich Gerätefunktionen und Kalibrierung sowie Qualitätskontrollmaßnahmen. Zu den Umgebungsbedingungen, die die Integrität der Daten beeinflussen, gehören die Oberflächenreflexion, der Winkel zwischen Scanner und Ziel (Einfallswinkel) und die Reichweite zum Zielobjekt [19].

Diese Art von Scan sollte allerdings immer von Experten durchgeführt werden. Daher ist es entscheidend, vor der Bestandsaufnahme die funktionalen Leistungsanforderungen festzulegen, damit mit dem Dienstleister über das optimale Ergebnis verhandelt werden kann, um die höchste Qualität der Ergebnisse zu erzielen. Es gelten jedoch einige allgemeine Faustregeln, mit denen der Kunde vertraut sein sollte, um die ordnungsgemäße Entwicklung der funktionalen Leistungsanforderungen sicherzustellen [19].

#### **Vorteile**

- + hohe Messgeschwindigkeit
- + hohe Punktdichte
- + flächenhafte Erfassung
- + 3D-Koordinaten (x,y,z) + Intensitätswert

#### **Nachteile**

- teure Technologie (Hardware + Software)
- keine direkte Erfassung markanter Punkte
- hoher Zeitaufwand beim Modellieren (Postprocessing)

**Tab. 5.1:** Gegenüberstellung Vor- und Nachteile eines terrestrischen Laserscannings

Zur Zeit gibt es kein standardisiertes Procedere für die Vermessungsplanung eines terrestrischen Laserscannings. Allerdings sollte die Planung mindestens folgende Themen umfassen (siehe Abbildung 5.3):

- Bestimmung der Ziele und Zielvorgaben,
- Analyse des zu vermessenden Gebietes bzw. Objektes,
- Bestimmung der Messmethoden und das Datenmanagement

Anwendung finden Laserscan-Aufnahmen u.a. in der Archäologie, Bauaufnahme sowie örtliche Bauaufsicht, Beweissicherung, Geländeerfassung sowie Volumenberechnung und in der Unfallstellendokumentation [19].

### 5.4.1 Geräteauswahl

Zur Wahl des richtigen Laserscanner sollten daher folgende Fragen gestellt werden.

- Welche Reichweite?
- Welche Genauigkeit?
- Welche Objektauflösung (Punktabstand)?
- Wieviel Zeit steht zur Verfügung (Messfrequenz)?

Derzeit stehen beispielsweise Geräte folgender Herstellerfirmen von terrestrischen Laserscannern zur Auswahl bereit:

Herstellerfirma	Herstellerland
High-Definition Surveying HDS, Leica Geosystems	Schweiz
Riegl	Österreich
Trimble mit Mensi*	USA & Deutschland
Faro mit iQsun*	USA & Frankreich
Zoller+Fröhlich mit Optech*	Deutschland & Kanada
Callidus	Deutschland

**Tab. 5.2:** Hersteller von Laserscannern mit Herstellerland

\* Anmerkung: *grosse Hersteller geodätischer Instrumente kauften sich bei kleinen Firmen ein, um deren Laserscanner mit in die Produktpalette aufzunehmen (Leica, Trimble, Faro)*

### 5.4.2 Datenaufnahme

Es sind verschiedene Aspekte, die die Form der Aufnahme eines Objektes maßgebend beeinflussen. Darunter ist ein wichtiger Punkt die Wahl der Standpunkte und die Wahl der Verknüpfungspunkte.

Die Anzahl der benötigten Standpunkte hängt von der Größe des aufzunehmenden Objektes ab. Bei komplexen Objekten sind häufig mehrere Standpunkte nötig. Jeder Standpunkt besitzt dabei ein eigenes lokales Koordinatensystem, welche im Zuge der Auswertung miteinander verknüpft werden müssen. Die hierfür verwendete Bezeichnung ist „Registration“. Sie kann mit Hilfe von Passpunkten (z.B. Kugeln oder Schachbrett-Zielmarken) oder über die Punktwolken selbst erfolgen [19].

Für die Erfassung von Farbinformationen verfügen einige Laserscanner über integrierte Kameras, mit denen sie während des Messvorgangs Fotos aufnehmen. Die Ausrichtung des Instruments sollte senkrecht zum aufzunehmenden Objekt erfolgen, da ein senkrecht auftreffender Messstrahl ein starkes Signal zurücksendet. Ein schräg auftreffender Messstrahl hingegen reflektiert ein schwächeres Signal. Daraus resultiert eine geringere Reichweite und Streckenmessgenauigkeit. Zusätzlich beeinflussen die Oberflächenmaterialien des Messobjekts die Genauigkeit [60].

Abhängig von der gewählten Auflösung und dem Zielgebiet kann der Scannprozess zwischen 5 und 120 Minuten dauern [19].

Die Vorteile des TLS Messverfahrens liegen in der schnellen berührungslosen Aufnahme von vielen Millionen Punkten pro Sekunde und der räumlichen Erfassung komplexer Objekte in Verbindung mit einer kurzen Aufbau- sowie Vorbereitungszeit. Außerdem können Nutzer mit Hilfe entsprechender Auswertesoftware Nachmessungen zu einem späteren Zeitpunkt durchführen und diese in ein bestehendes Projekt integrieren.

Durch die Aufnahme von teilweise einer Million Punkten pro Sekunde entsteht schnell ein hohes Datenvolumen, welches entsprechend zu berücksichtigen ist.

## 5.5 Software

### 5.5.1 Datenaufbereitung

Die im Zuge des Laserscans erzeugten Daten werden anschließend analysiert und mit den Feldskizzen und Notizen verglichen.

Verschiedene Typen von Scannern speichern die Punktwolkeninformation in verschiedenen Formaten (siehe nachfolgende Auflistung) ab, daher ist es besonders wichtig für Archivierungszwecke, dass das Dateiformat leicht zugänglich (offen) und wiedererkennbar ist. Wenn darauf direkt ohne Decodierung zugegriffen werden kann, kann es später leicht durch eine entsprechende Software in jedes andere lesbare Format konvertiert werden. Das Dateiformat sollte die Daten in seinem elementarsten Format enthalten.

Allgemein verwendete Formate, um Punktwolken zu speichern, sind:

- DXF: AutoCad Format;
- PTX: geordnetes Textformat von Leica, das xyz-Koordinaten, Reflexionsvermögen und Farbinformation, manchmal auch die Scanposition enthält;

- PTS: nicht geordnetes Textformat von Leica, das xyz-Koordinaten, Reflexionsvermögen und Farbinformationen enthält;
- XYZ: nicht geordnetes Textformat das xyz Koordinaten enthält;
- XYZRGB: nicht geordnetes Textformat, das xyz Koordinaten und Farbwerte (RGB) für jeden Punkt enthält;

Zurzeit ist das gebräuchlichste Format das \*.xyzrgb-Format.

Zu der Sicherungskopie muss immer eine Meta-Datendatei hinzugefügt werden, die die Feldskizze, die Vermessungsnotizen und alle Daten, die bereits in der Vorbereitungsplanung des Scan-Auftrags erfasst wurden, enthält [19].

Vor der Bearbeitung der Punktwolken werden Daten, die durch extreme Umweltbedingungen oder durch fehlerhafte Scans beeinträchtigt sind, aus dem Datensatz entfernt. (siehe Grafik 5.7)

Dieser Schritt ist besonders wichtig, da ein gewöhnlicher Laserscansvorgang Daten generiert, die nicht erforderlich sind und somit nur den weiteren Prozess aufgrund ihrer beträchtlichen Größe belasten.

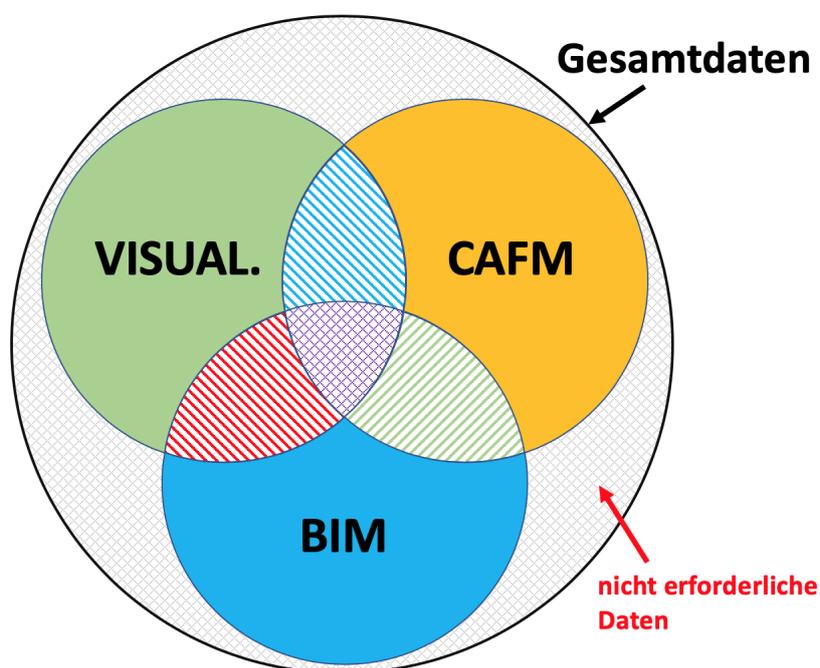


Abb. 5.7: Anteil Datenmengen aus Laserscansvorgang <sup>2</sup>

<sup>2</sup>Eigene Darstellung

Die direkte 3D Modellierung von Punktwolken ist eine Frage der Interpretation. Die meisten verfügbaren Softwarepakete in dem Bereich sind Plug-Ins für CAD-Software wie AutoCAD, Archicad etc.

Spezielle Schnittstellen erlauben dem Anwender riesige Punktwolken in diese Programme zu laden, um sie mit den Standard CAD Tools zu bearbeiten [19].

### 5.5.2 Datenmanagement

Ein Laserscanner nimmt Tausende von Punkten pro Sekunde auf, weshalb die Datensätze in kurzer Zeit sehr groß werden. Das erfordert eine Ausrüstung, die in der Lage ist die Scannerdaten zu speichern, zu verarbeiten und zu archivieren.

Dateiformate regeln auch den Grad der Genauigkeit und den Umfang der in der Datei gespeicherten Information.

Bei der Konvertierung zwischen verschiedenen Dateiformaten müssen diese Unterschiede in Betracht gezogen werden. Einige Dateiformate enthalten nur Punktinformationen (xyz-Koordinaten), während andere mehr Informationen hinzufügen.

Weiters ist es wichtig, die Daten zu archivieren und sie für einen längeren Zeitraum zugänglich zu halten. Das Archivieren als solches ist zu einer wichtigen Sache geworden, nicht nur beim Laserscanning.

Wichtig beim Archivieren ist das Hinzufügen von Meta-Daten, um zu wissen, was gescannt und wie es gespeichert oder bearbeitet worden ist [19].

Die Datenträger und das Format, in dem die Daten für den späteren Gebrauch gespeichert werden, bestimmen darüber, ob die Daten noch in 10 Jahren gelesen werden können. Heutige Datenträger wie externe Festplatten, CD-ROMs, DVDs oder sogar BlueRay bieten zwar die Möglichkeit, große Datenmengen zu speichern, aber ihre Lebenszeit ist ungewiss. Deshalb ist es notwendig, in regelmäßigen Abständen Backups von den Backups zu machen. Das Format sollte so einfach wie möglich sein (z. B. Textdateien) und soviel Information wie möglich enthalten.

# Kapitel 6

## Fall B - Von der BIM-Planung über die digitale Baustelle in den Betrieb

### 6.1 Durchgängige Prozesse

Vom Beginn der Planung bis zum Anfang der Ausführungsarbeiten werden Informationen zum jeweiligen Bauvorhaben gesammelt, bearbeitet und gespeichert. Somit handelt es sich in der Planungsphase jedes Bauvorhabens um ein Informationsmanagementprojekt (siehe Abb. 6.1).

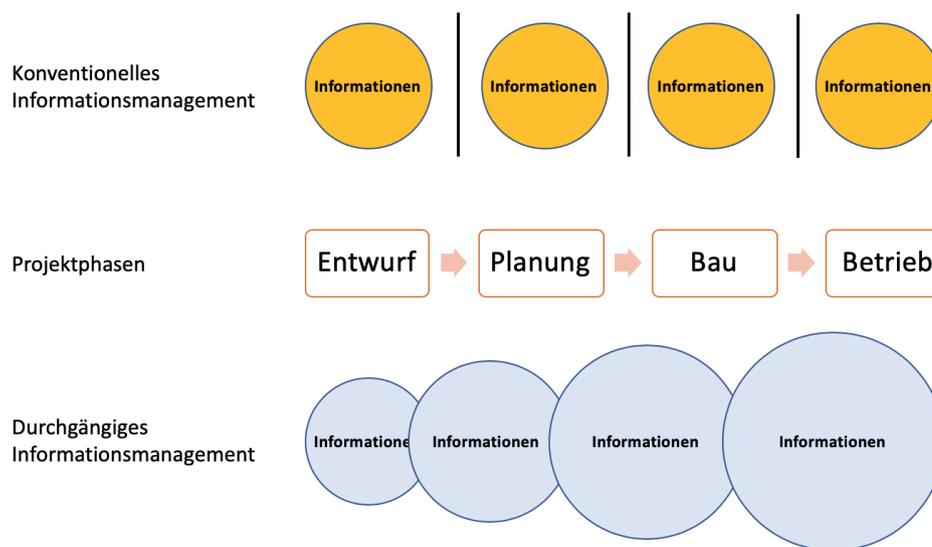
Der Ansatz eines digitalen Bauprojektes setzt in der Planung und Bauausführung ein 3D-Gebäudemodell voraus. Anhand dieses Gebäudemodelles wird ein Abbild des zu entstehenden Bauwerkes geschaffen.

Das anfängliche 3D-Modell wird in der Planungsphase erstellt und über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes verwendet. Das Modell gewinnt in den einzelnen Phasen an Informationen und kann durch das Hinzufügen von einzelnen Komponenten auf ein 4D- oder 5D-Modell erweitert werden.

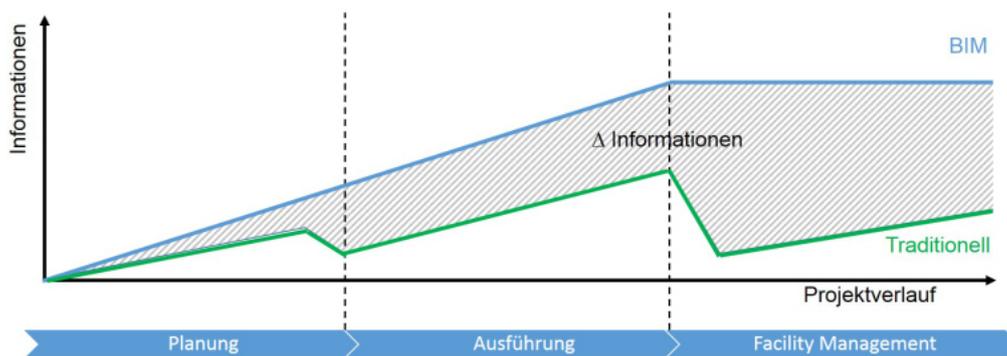
Während einer konventionellen Baustellenabwicklung gehen oftmals Informationen zwischen den einzelnen Phasen verloren. Dieser Umstand ist der teilweise fehlenden Kommunikation oder neuen Projektbeteiligten geschuldet [11].

Insgesamt sind die durchgängige Nutzung von Informationen in der Planungsphase und insbesondere die Weiternutzung während der Bauausführung noch ungelöst. Gerade in der Schaffung von Durchgängigkeit zwischen allen Planungsphasen werden maßgebliche Verbesserungen durch die digitale Planung auf Basis eines digitalen 3D-Modells erwartet [11].

In Abbildung 6.2 ist der Informationsverlauf einer konventionell abgewickelten Baustelle und einem möglichen Informationsverlauf durch die Nutzung von BIM gegenübergestellt.



**Abb. 6.1:** Konventionelles und durchgängiges Informationsmanagement <sup>1</sup>



**Abb. 6.2:** Informationsverlauf BIM vs. Traditionell [17]

Die Wissensverluste können durch ein durchgängiges digitales Modell reduziert werden und der Informationsfluss kann bei einer idealen Nutzung des Modells mit der blauen Linie verglichen werden [11].

Für die Erfassung des Geländes oder des Bestandes und Überführung in ein digitales Geländemodell werden verschiedene Hilfsmittel genutzt. Im Falle eines fehlenden digitalen Modells kann jenes mit terrestrischen Laserscanning erstellt werden. Dieses digitale Modell dient als Basis für den Entwurf und beeinflusst weitere Entscheidungen bezüglich der Bauverfahren.

Anhand des Bauwerksmodells mit den gespeicherten Informationen können unterschiedliche Analyse- und Simulationsverfahren durchgeführt werden.

Folgende Verfahren können nach BORRMANN am Gebäudemodell angewendet werden [12]:

<sup>1</sup>Eigene Darstellung in Anlehnung an [28, S. 9]

- Modellprüfung,
- Mengenermittlung,
- Baustatische Berechnung,
- Bauablaufvisualisierung und Kostenermittlung,
- Wärmebedarfsberechnung usw.

#### Zu Modellprüfung

Mit Hilfe dieser Prüfung können Kollisionsprüfungen am Modell durchgeführt werden. Momentan können Kollisionsprüfungen durchgeführt werden. Jedoch werden die Kontrolle von Konsistenzregeln und die Überprüfung der Einhaltung der Normen ebenfalls angestrebt [38].

#### Zu Mengenermittlung

Die Ermittlung der Mengen des Bauvorhabens können automatisch anhand des Gebäudemodells durchgeführt werden. Der Aufbau der Bauteile sowie deren Abmessungen sind im Modell gespeichert. Aufgrund der automatischen Berechnung können Fehler wie beispielsweise eine doppelt gerechnete Wand verhindert werden. Aufbauend auf die Mengenermittlung kann anschließend die Kostenermittlung durchgeführt werden.

#### Zu Baustatische Berechnung

Zusätzlich zu den Informationen des Aufbaues und der Abmessungen der Bauteile können Materialparameter und Anschlüsse ebenfalls im System gespeichert werden. Anhand dieser Informationen sind statische Berechnungen möglich [12].

#### Zu Bauablaufvisualisierung

Im Zuge der Ablaufvisualisierung wird das 3D-Model um eine Dimension – die Zeit – erweitert, dadurch kann ein Bauzeitplan erstellt werden. In weiterer Folge sind die Planung der Baustelleneinrichtung und die logistische Planung auf Basis dieses Modells möglich. Der erstellten Bauzeitplan und die automatisch ermittelten Mengen können als Grundlage für den Geräte- und Materialbedarf verwendet werden.

#### Zu Wärmebedarfsberechnung

Im entworfenen Gebäudemodell sind Abmessungen von Öffnungen und Materialparameter sowie Aufbauten der Bauteile gespeichert. Mit Hilfe der Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Materialien und der Bauteilabmessungen können automatisch Wärmebedarfsberechnungen durchgeführt werden [12]. Mit Hilfe dieses energieoptimierten Entwerfens ist bereits in der Planungsphase der Energieverbrauch im Betrieb feststellbar. Somit sind die energetischen Leistungsdaten und die späteren Betriebskosten bereits im Entwurf feststellbar [12].

## 6.2 Ziele

Der durchgängige Einsatz von digitalen Technologien kann Prozessabläufe transparenter gestalten, indem Schnittstellen reduziert und die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Projektbeteiligten optimiert wird. In einer Vielzahl von Industrien wie beispielsweise dem Fahrzeug-, Schiffs- oder Anlagenbau werden diese Möglichkeiten genutzt. In der Baubranche finden diese Konzepte bisher nur wenig Anwendung [28, S. 18].

Das Ziel ist ein komplexes Bauvorhaben ganzheitlich in einem digitalen Baustellenmodell abzubilden. Diese Digitale Baustelle wird in allen Projektphasen als zentrales Planungsinstrument verwendet.

Es sind Methoden und Werkzeuge für die Umsetzung der Digitalen Baustelle zu schaffen. Der Fokus hierbei liegt in der Neuentwicklung von Technologien, sowie der Weiterentwicklung und Anpassung vorhandener Methoden und Systemen an die speziellen Bedingungen der Bauindustrie.

Um ein Bauvorhaben ganzheitlich in einem digitalen Baustellenmodell abbilden zu können, ist eine Integration der Daten aus den verschiedenen Bereichen wie der Planung, Vermessung, Arbeitsvorbereitung, Buchhaltung und der Baustelle selbst durch eine zentrale Datenplattform mit standardisierten Schnittstellen zu der bestehenden, meist sehr heterogenen EDV-Systemlandschaft notwendig.

Erst durch eine Kopplung zwischen Baugrund-, Baustelleneinrichtungs-, Bauwerks- und Simulationsmodell in einem Baustelleninformationsmodell können weitreichende Optimierungspotenziale im gesamten Ablauf nutzbar gemacht werden. Das Modell wird über das Bauvorhaben hinweg dynamisch aktualisiert und liefert den verschiedenen Nutzern die relevanten technischen Informationen. Kritische Prozesse oder Abläufe werden vorab im Modell der Digitalen Baustelle getestet, um später auf der realen Baustelle ohne Verzögerungen und unnötige Stillstandzeiten durchgeführt werden zu können.

## 6.3 Informationsanforderung

Um die Durchgängigkeit von Anfang an richtig zu organisieren braucht es Grundlagen. Die erste Grundlage ist die AIA - Auftraggeber Informationsanforderung in der Bauherr alle seine Anforderungen an das digitale Bauprojekt, die Datenerfassung und das Datenmanagement definiert.

Zur AIA gibt es bereits erste Standardwerke und Musterausarbeitungen, wie z.B wie die großen österreichischen öffentlichen Auftraggeber und die Schrift 12 der Plattform 4.0.

Eine Richtlinie der ÖBV (Österreichische Bautechnikervereinigung) zu „BIM in der Praxis“ soll 2019 erscheinen und wird als Kern auch eine Muster-AIA in modular aufgebauten unterschiedlichen Ausprägungen enthalten [16].

In einem BIM-Abwicklungsplan (BAP) wird die Informationsanforderung konkret detailliert und definiert. Der Umgang mit Daten, die im Projekt zu generieren und zu verarbeiten sind, wird genau geregelt. Datenformate, Schnittstellen, Verantwortung und Übergabe, Detaillierungsgrad und viele mehr werden beschrieben.

Die gesamte BIM-Planung hat sich nach diesen Anforderungen zu richten insbesondere dann, wenn sich unterschiedliche Planer und Experten an ihren BIM-Teilmodellen und letztendlich am BIM-Gesamtmodell arbeiten [16].

## 6.4 Planung

BIM bedeutet, dass es das Projekt zu erst digital gebaut wird, also ein digitaler Zwilling entsteht, bevor es real gebaut wird. Das ermöglicht, dass man am digitalen Model korrigieren und optimieren kann, sodass es in der Ausführung zu weniger Änderungen und Störungen kommt.

Typischerweise wird ein Architekturmodell, ein Tragwerksmodell und ein TGA-Modell erstellt. Diese Teilmodelle werden zu einem Gesamtmodell zusammengeführt.

Entscheidend ist der Umgang mit Schnittstellen, sodass alle Teilmodelle über alle Phasen hinweg miteinander zusammenpassen. Das kann entweder erreicht werden indem man mit einem Softwaresystem arbeitet (closesBIM) oder indem man Softwares verwendet, die anerkannte Schnittstellen-Standards erfüllen.

Ein solcher weltweit anerkanntes Standard ist IFC (Industry Foundation Classes), die vom buildingSmart entwickelt wird.

Diese Standards werden dann auch in die internationale europäische und nationale Normung übernommen (ISO CEN und ÖN).

### 6.4.1 Common Data Environment

In einigen Fällen ist die Bauindustrie immer noch auf Papier angewiesen, z.B. für Pläne, Konstruktionszeichnungen und Aufträge. Dies kann zu schleppenden Fortschritten führen und dazu, dass Teammitglieder mit unterschiedlichen Versionen derselben Pläne arbeiten [10, S. 9–10].

Das digitale Bauprojekt bedeutet jedoch den Übergang weg vom Papier hin zum Cloud-basierten Echtzeit-Austausch von Informationen, der alle Elemente eines Projekts integriert, um sicherzu-

stellen, dass alle Beteiligten Zugang zu den neuesten Informationen haben, die Zusammenarbeit erleichtern und die Ergebnisse verbessern [10, S. 9–10].

Das CDE (Common Data Environment) ermöglicht das Zusammenwirken mehrerer Projektbeteiligter. Sie tauschen Wissen und Daten aus und kommunizieren über diese Projektplattform.

Parallel entsteht dadurch eine lückenlose Dokumentation der Prozesse und des Projektes in allen Stadien.

Der Austausch von Papierplänen und Papierdokumenten sollte mit der Zeit massiv abnehmen und zwar zu Gunsten eines ausschließlich digitalen Informationsaustauschs.

Wichtig für den praktischen Einsatz sind, Datenhoheit, Datensicherheit und Datenverfügbarkeit. Dabei geht es um die Antwort auf die Fragen:

- Wem gehören die Daten?
- Wie sicher sind die Daten aufgehoben und einsichtig?
- Wie lange bleiben die Datenformate gültig und damit verwertbar?

Das CDE wird künftig mit der ERP-Software (Enterprise Resource Planning) der Beteiligten Unternehmen in kompatibler Form zusammenwirken müssen [52].

CDE wirkt auf Projektebene und ERP wirkt auf Unternehmensebene.

### 6.4.2 Softwarefamilien

International am weitesten verbreitet ist REVIT<sup>2</sup> von Autodesk, das vor allem im angelsächsischen Raum historisch fast ein Monopol hat und daher auch oft mit „closedBIM“ in Zusammenhang gebracht wird<sup>3</sup>.

Aus dem deutschsprachigen Raum kommt Nemetschek mit Allplan, Graphisoft und Archicad. Diese Softwarefamilie folgt historisch eher der Philosophie des openBIM.

Bentley ist eine weitere international verbreitete Softwarehersteller.

Daneben gibt es eine Fülle von Software für spezielle Anwendungen, wie z.B. Solibri für die Kollisionsprüfung von BIM-Modellen und RiB für Termine und Kosten.

---

<sup>2</sup>Autodesk Revit ist eine umfassende Planungssoftware, die speziell für Building Information Modeling (BIM) entwickelt wurde

<sup>3</sup>Vgl.: <https://www.autodesk.de/solutions/bim/aec-case-studies-architecture/5d-institut> Zugriff am 18.02.2019

### 6.4.3 BIM 4D und 5D

Grundsätzlich verarbeitet BIM-Software geometrische Daten und zugehörige Attribute, wie z.B. Materialien und besondere Eigenschaften.

Mehr und mehr werden auch Daten zu Termine (4D) und Kosten (5D) von BIM-Programmen erfasst und verarbeitet. Damit entsteht ein zunehmendes Gesamtbild aus Sicht von Bauwirtschaft und Baubetrieb. Allerdings ist BIM 4D und 5D noch weitgehend im Entwicklungs- und Erprobungsstadium [52].

### 6.4.4 Kostenplanung

Aus Sicht der Bauherrn ist die Planung und Einhaltung der Kosten ein vorrangiges Ziel. Die bauwirtschaftlichen Tools sind derzeit noch kaum mit den BIM-Planungstools verknüpft.

Weiterhin handelt es sich bei den Plankosten fast immer um Errichtungskosten und nicht um Lebenszykluskosten (LZK).

Zwischen Errichtungskosten und Folgekosten (in Summe LZK) bestehen beträchtliche Unterschiede in der Systematik, sodass die gemeinsame Bearbeitung in einem Tool nicht so einfach ist. Geometrisch erfassbare Massen, wie z.B. Beton, Mauerwerk, Türen, Fenster stehen Systemkosten gegenüber, wie z.B. Heizungssystem von der Ölversorgung über Kessel und Leitungen bis zu Heizkörpern oder Heizschlangen bei Fußbodenheizungen. Nur Teile davon sind über BIM primär erfassbar.

### 6.4.5 BIM und TGA

Die durchgängige Planung der TGA in BIM ist in der Praxis heute noch ein Thema in dynamischer Entwicklung.

Andererseits entstehen mehr mehr Gebäude mit ausgeprägter Sensorik, also MSR, die zahlreiche Daten aus der Nutzung und dem Betrieb aufnimmt und rückmeldet. Aus diesen Daten können wertvolle Benchmarks gewonnen werden. Allerdings kann diese Entwicklung auch gesellschaftlich kritisch gesehen werden.

### 6.4.6 BIM und FIM

FIM steht hier für Facility-Information-Management oder von anderen AIM (Asset-Information-Management) genannt.

Wichtig ist, dass bereits bei der Planung alle Weichen gestellt werden, sodass die gewonnen und generierten Daten den späteren Ansprüchen aus Nutzung und Betrieb ( FIM bzw. AIM) genügen.

Ein typisches Beispiel dafür sind AKS-Nummer (Anlagenkennzeichnungssystem), die bereits in der Frühphase nach einer klar vorgegebener Systematik zu vergeben sind. Geschieht dies nicht, werden FIM-Tools wie CAFM (Computer Aided Facility Management) nicht effizient eingerichtet werden können [58].

## 6.5 Digitale Baueinreichung

Die Stadt Wien bereitet aktuell gerade die digitale Baueinreichung vor.

Wesentlich ist, dass die Daten in der Planung so aufbereitet werden, dass sie für eine digitale Einreichung und anschließende digitale Genehmigung durchgängig verwendet werden können.

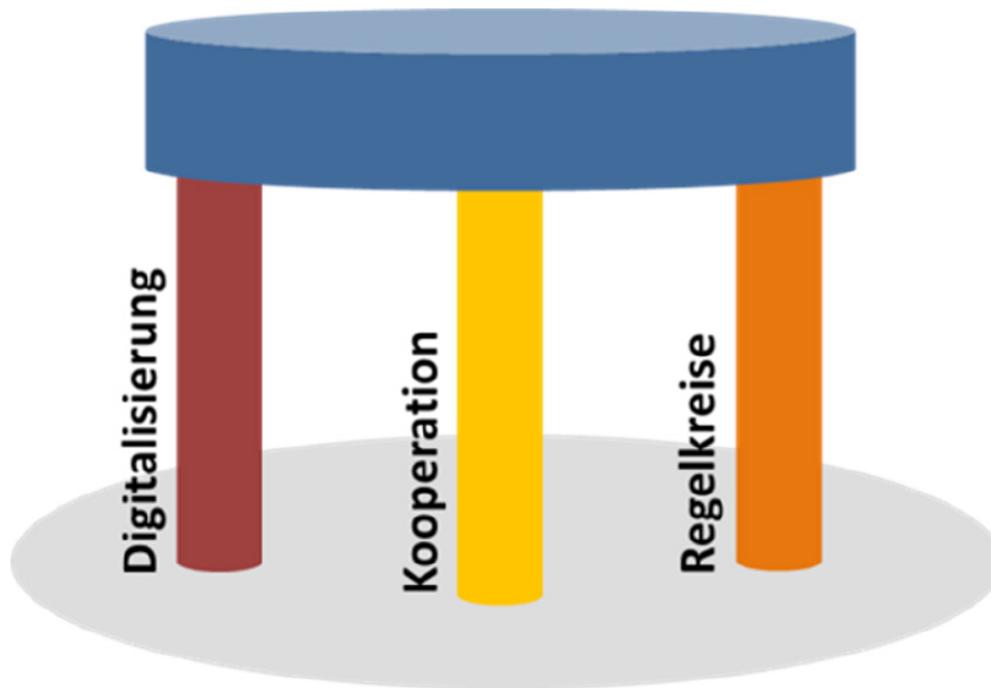
Modelle werden mit zunehmenden Planungs- und Baufortschritt immer umfangreicher, sodass für manche Zwecke, wie z.B eine digitale Baueinreichung eigene Teilmodelle erstellt werden, die diesen Zweck genügen und die Behörde nicht mit unnötigen Informationen überfordern.

Kommt dieses Behörden-Datenmodell genehmigt und mit Anmerkungen bzw. mit Auflagen zurück, muss es wiederum ohne Schnittstellenverluste und effizient in das Gesamtmodell eingespielt werden können.

## 6.6 AVVA

Die Schrift 14 der Plattform 4.0 „AVVA radikal digital“ [52] gibt eine Vision, wie sich AVVA in den nächsten Jahren entwickeln wird oder entwickeln soll.

Am besten lässt sich die oben erwähnte Vision anhand folgender Abbildung 6.3 bildhaft erklären.



**Abb. 6.3:** Das Dreibein zum Erfolg gelungener Bauprojekte [52]

Grundsätzlich spielt die Digitalisierung eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung besserer Projekt-Abwicklungsmodelle.

Nachfolgend werden die Säulen in Stichwörtern konkretisiert.

Dabei bedeutet Digitalisierung nach [52] konkret:

- Lückenloser Einsatz von Open BIM und FIM
- Digitalisierte Prozesse in Planen, Bauen und Betreiben
- Standards, einheitliche Strukturen und Schnittstellen
- Datenketten über den Lebenszyklus

Nach REISMANN [51] bedeutet Kooperation:

- Neue, positive, ergebnisorientierte Formen der Zusammenarbeit
- Alle Beteiligten arbeiten abgestimmt an digitalen Modellen
- Neue Projekt-Abwicklungsformen über die Phasen

- Neue Formen von AVVA, insb. Vergaben und Verträgen
- Kosten+Nutzen-Ausgleich über Phasen und Beteiligte
- Gemeinsamer Erfolg in Technik und Wirtschaft
- offene Kommunikation auch über Schwachstellen, neue Fehlerkultur

Und die Regelkreise bedeuten:

- Offene Rückkopplung von Erkenntnissen und Erfahrungen, ermöglicht durch „objektive“ Daten
- Die unterbrochene Lernkurve des Bauwesens schliessen
- Erfahrungen aus Bau und Betrieb in die Planung, Early Involvement oder wie immer es heisst
- Lebenszyklus-Planung und Lebenszyklus

## 6.7 Digitale Baustelle

Technische Herausforderungen für den Bausektor spielen eine Rolle bei der langsamen Digitalisierung. Die Einführung von Lösungen auf Baustellen ist keine leichte Aufgabe. Und angesichts des unterschiedlichen Entwicklungsniveaus kleinerer Bauunternehmen, die oft als Subunternehmer fungieren, ist der Aufbau neuer Fähigkeiten im Maßstab eine weitere Herausforderung.

Die wachsende Nachfrage nach nachhaltigem Bauen erfordert einen Wandel der traditionellen Praktiken. Traditionell konzentriert sich der Sektor eher auf inkrementelle Verbesserungen, zum Teil weil viele glauben, dass jedes Projekt einzigartig ist, dass es nicht möglich ist, neue Ideen zu entwickeln, und dass die Einführung neuer Technologien unpraktisch ist.

In einem Online-Fachartikel werden folgende fünf Möglichkeiten (siehe Abb. 6.4) betrachtet, die die Branche in den nächsten fünf Jahren verändern können [1].

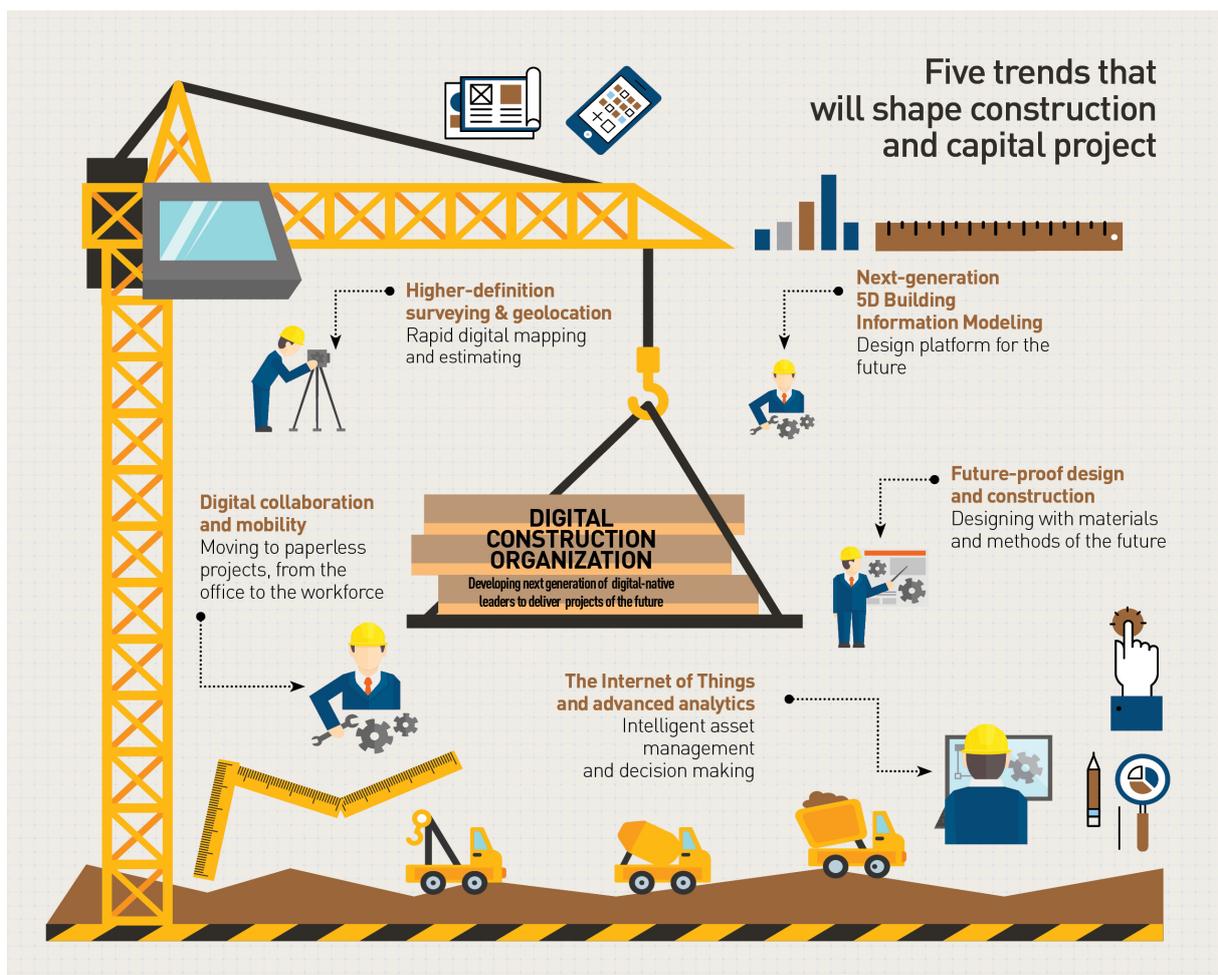


Abb. 6.4: Fünf Trends der digitalen Baustelle [20]

Keine dieser fünf Ideen ist futuristisch oder gar unplausibel. Alle basieren auf Innovationen, die für den Bausektor anwendbar sind und entweder im Einsatz oder als Prototyp getestet werden [1].

### 6.7.1 Trend 1: Hochauflösende Bestandsaufnahme

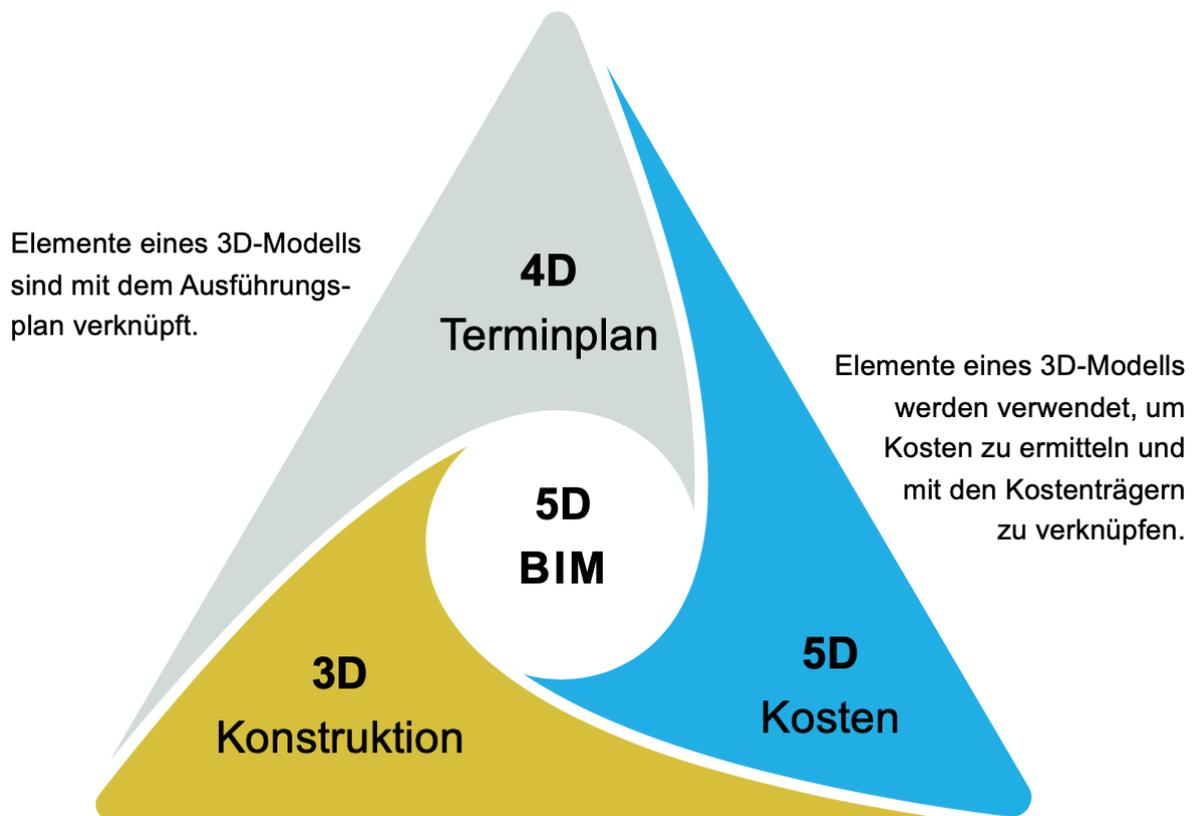
Geotechnische Überraschungen sind ein wesentlicher Grund dafür, dass sich Projekte verzögern und das Budget überschreiten.

Die Photogrammetrie beispielsweise liefert hochwertige, hochauflösende Bilder von Vermessungsbereichen, braucht aber Zeit, um in ein brauchbares Format umgewandelt zu werden. Die Lidar-Technologie (Light Detection and Range) ist viel schneller als herkömmliche Technologien und liefert hochwertige 3D-Bilder, die mit Projektierungstools wie Building Information Modeling (BIM) integriert werden können.

In Verbindung mit bodendurchdringendem Radar, Magnetometern und anderen Geräten kann Lidar ober- und unterirdisch 3D-Aufnahmen von Projektstandorten erzeugen. Dies ist besonders wichtig bei dichten, umweltbewussten oder historischen Projektstandorten, bei denen Störungen minimiert werden müssen.

### **6.7.2 Trend 2: 5D BIM-Planung der nächsten Generation**

Die nächste Generation des 5D-BIM berücksichtigt die Kosten und den Zeitplan eines Projekts zusätzlich zu den üblichen räumlichen Gestaltungsparametern in 3D. Es beinhaltet auch Details wie Geometrie, Spezifikationen, Ästhetik, thermische und akustische Eigenschaften. Eine 5D BIM-Plattform ermöglicht es Auftraggeber und Auftragnehmern, die Auswirkungen von Änderungen auf Projektkosten und Terminplanung zu identifizieren, zu analysieren und aufzuzeichnen (Siehe Abb. 6.5).



**Informationen, die in das 3D-Modelleingebettet werden können:**

- Räumliche Daten (aus Lasercanner)
- Spezifikationen
- Geometrie
- Ästhetik (z.B. Farbe)
- Thermische Eigenschaften
- akustische Eigenschaften

Abb. 6.5: BIM 5D <sup>4</sup>

Der Einsatz der 5D-BIM-Technologie kann durch Augmented-Reality-Technologie über tragbare Geräte weiter verbessert werden. So kann beispielsweise ein tragbares, in sich geschlossenes Gerät mit einem durchsichtigen, holographischen Display und fortschrittlichen Sensoren die physikalische Umgebung abbilden. In dieser „mixed reality“-Umgebung können Benutzer Hologramme an physische Objekte anheften und mit Hilfe von Gesten, Blicken und Sprachbefehlen mit Daten interagieren.

Die Kombination von 5D-BIM und Augmented-Reality-Geräten werden Bau, Wartung und Betrieb erhebliche Vorteile verschaffen [1].

<sup>4</sup>Eigene Darstellung in Anlehnung an [1]

### 6.7.3 Trend 3: Digitale Kollaboration und Mobilität

Prozessdigitalisierung bedeutet den Übergang vom Papier zum elektronischen Datenaustausch in Echtzeit, um Transparenz und Zusammenarbeit zu gewährleisten, rechtzeitige Fortschritts- und Risikobewertung, Qualitätskontrolle und schließlich bessere und zuverlässigere Ergebnisse zu erzielen.

Aufgrund der teilweise fehlenden Digitalisierung verzögert sich der Informationsaustausch und ist möglicherweise nicht universell. Eigentümer und Auftragnehmer arbeiten daher oft mit unterschiedlichen Versionen. Die Verwendung von Papier erschwert die Erfassung und Analyse von Daten; das ist wichtig, denn im Beschaffungs- und Vertragswesen kann die historische Leistungsanalyse zu besseren Ergebnissen und zum Risikomanagement führen.

Die Digitalisierung von Arbeitsprozessen hat erhebliche Vorteile. (siehe Abb. 6.6).

<p><b>Projektverwaltung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualisierung von Zeichnungen und 3D-Modellen vor Ort auf mobilen Plattformen</li> <li>• Aktualisieren von Bauplänen auf der Baustelle mit Markierungen, Anmerkungen und Verweisen.</li> </ul>	<p><b>Terminplanung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellen, Zuweisen und Priorisieren von Aufgaben in Echtzeit</li> <li>• den Fortschritt online verfolgen</li> <li>• den Arbeitsplan und den Zeitplan für alle Mitarbeiter sofort umsetzen</li> <li>• mobile Benachrichtigungen an alle Subunternehmer</li> </ul>	<p><b>Materialverwaltung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermittlung, Verfolgung und Lokalisierung von Materialien und Geräten über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg.</li> </ul>	<p><b>Mannschaftsüberwachung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung von Echtzeit-Statusmeldungen über die gesamte Besatzung</li> <li>• die Anzahl der aktiven Arbeitsstunden</li> <li>• den Zutritt zu nicht autorisierten Bereichen usw.</li> </ul>
<p><b>Qualitätskontrolle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferninspektion anhand Bildern und Markierungen und die App-basierte Freigabe</li> </ul>	<p><b>Vertragsmanagement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktualisierung und Verfolgung von Checklisten zur Einhaltung von Verträgen</li> <li>• Bereitstellung einer aktualisierten Aufzeichnung aller Mitteilungen von Auftraggeber und Auftragnehmer.</li> </ul>	<p><b>Leistungsmanagement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung von Fortschritt und Leistung</li> <li>• Bereitstellung automatisierter Übersichtslisten, die aus den Daten vor Ort erstellt werden</li> </ul>	<p><b>Dokumentenverwaltung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochladen und Verteilen von Dokumenten zur Überprüfung, Bearbeitung und Aufzeichnung aller Entscheidungen</li> </ul>

Abb. 6.6: digitale Lösungen für ein nahtloses Echtzeit-Erlebnis in acht Anwendungsfällen <sup>5</sup>

Die Verfügbarkeit kostengünstiger Tablets und tragbarer Geräte, hat eine neue Generation von Cloud-basierten Crew-Mobility-Apps ermöglicht, die auch auf Baustellen mit Echtzeit-Updates eingesetzt werden können. Diese sind für Auftragnehmer und Projektträger aller Größenordnungen wirtschaftlich nutzbar.

Ein Start-up hat zum Beispiel Apps für Tablets und Smartphones entwickelt, die es ermöglichen, Änderungen in Bauplänen und Plänen in Echtzeit an die Besatzungen vor Ort weiterzuleiten; Standortfotos können mit Bauplänen verknüpft werden.

#### **6.7.4 Trend 4: Das Internet der Dinge und erweiterte Analysemöglichkeiten**

Durch Tatsachen wie die Anzahl der Personen, die Fülle an Baumaschinen und den gleichzeitigen Arbeitsaufwand werden die Projektstandorte immer dichter. Sie erzeugen heute riesige Datenmengen, von denen ein Großteil nicht einmal erfasst, geschweige denn gemessen und verarbeitet wird.

Das Internet der Dinge (IoT) ist in vielen anderen Bereichen Stand der Technik; Sensoren und drahtlose Technologien ermöglichen es, dass Geräte und Anlagen „intelligent“ werden, indem sie miteinander kommunizieren. Auf einer Baustelle würde das IoT den Baumaschinen, Geräten, Materialien, Konstruktionen und sogar Schalungen ermöglichen, mit einer zentralen Datenplattform zu „sprechen“, um kritische Leistungsparameter zu erfassen.

Es gibt mehrere Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie:

- Überwachung und Reparatur von Geräten
- Bestandsführung und Bestellung
- Qualitätsbeurteilung
- Energieeffizienz
- Sicherheit

##### Zu Überwachung und Reparatur von Geräten

Fortschrittliche Sensoren können es Maschinen ermöglichen, Wartungsanforderungen zu erkennen und zu kommunizieren, automatisierte Warnmeldungen für vorbeugende Wartung zu senden und Nutzungs- und Wartungsdaten zu sammeln.

##### Zu Bestandsführung und Bestellung

Vernetzte Systeme können die Bestände prognostizieren und alarmieren, wenn die Bestände knapp

---

<sup>5</sup>Eigene Darstellung in Anlehnung an [1]

werden und Bestellungen getätigt werden müssen. NFC<sup>6</sup>-Tagging und Tracking von Materialien können auch deren Standort und Bewegung lokalisieren und helfen, physische und elektronische Bestände abzustimmen.

#### Zu Qualitätsbeurteilung

Intelligente Strukturen, die mit Hilfe von Schwingungssensoren die Festigkeit und Zuverlässigkeit einer Struktur während der Bauphase testen, können Mängel erkennen und frühzeitig beheben.

#### Zu Energieeffizienz

Sensoren zur Überwachung der Umgebungsbedingungen und des Kraftstoffverbrauchs von Anlagen und Geräten können die Energieeffizienz vor Ort fördern.

#### Zu Sicherheit

Tragbare Bänder können Warnmeldungen auslösen, wenn Fahrer und Bediener einschlafen oder wenn ein Fahrzeug oder Baugerät während der Arbeitszeit für ein bestimmtes Zeitfenster stillsteht oder nicht in Betrieb ist.

## 6.8 Übergabe / Übernahme

Spätestens zum Zeitpunkt der Bauübergabe sollen alle Unterlagen und Informationen, die bislang noch nicht im Modell gespeichert sind, ins Gebäudeinformationsmodell übertragen werden. Dies betrifft insbesondere auch die Dokumentation der Mängel sowie die Gültigkeitsfreigaben der Gewährleistungsfristen. Das vollständige Gebäudeinformationsmodell kann somit bereinigt und als As-Built-Modell dem Bauherrn übergeben werden [33, S. 33].

Der enorme Aufwand, der für den Betreiber nach Baufertigstellung entsteht, wenn er die Daten filtert und in ein Facility Management System überführt, entfällt und birgt großes Potenzial für die Effizienzsteigerung in der Nutzungsphase [11].

Der Übergabeprozess zwischen Bau- und Betriebsphase und die effektive Übertragung von strukturierten Informationen auf die Phasen des Asset-Lebenszyklus liefert einen erheblichen Mehrwert.

Um dies wirksam zu ermöglichen, sind die formalen Übergabeprozesse im AIA zu dokumentieren. Das AIA legt Struktur, Prozess und Inhalt der Informationen fest, die während des Projekts ausgetauscht werden sollen. Die Daten sollten in einem strukturierten Format definiert und verwaltet werden, um eine Zuordnung zu den AIM-Plattformen zu ermöglichen.

---

<sup>6</sup>Eine beliebte Form der NFC-Technologie ist die Radiofrequenz-Identifikation (RFID). Dies wird in Logistik-, Einzelhandels- und Produktionsumgebungen intensiv genutzt, um präzise Informationen über ein Produkt, einen Ort, eine Zeit und eine Transaktion zu sammeln. Seit den 90er Jahren nutzt die Bauindustrie RFID für Anwendungen wie die Verfolgung von Materialien und Geräten und die Entwicklung automatisierter Arbeitszeitblätter.

Datenaustauschformate und -protokolle sollten von allen Parteien entwickelt und vereinbart werden, die zusammenarbeiten und zum Informationslieferungsprozess beitragen. Auf Projektebene werden Informationen in einem im BIM-Ausführungsplan (BAP) definierten Format benötigt.

Es wird empfohlen, dass die BIM-Plattform offene APIs für die verschiedenen FM-Lösungen unterstützt, um eine bidirektionale Kommunikation zu ermöglichen, sowohl zum Lesen von Daten als auch zum Zurückschreiben von Daten. Die Möglichkeit, die von der BIM-Plattform bereitgestellten 3D/2D-Modellen innerhalb der FM-Anwendungen zu visualisieren, wäre ein wesentlicher Zusatznutzen, um die Leistungsfähigkeit von BIM in jede FM-Lösung zu integrieren.

## 6.9 Nutzung und Betrieb

Ein Gebäudeinformationsmodell findet nach der Baufertigstellung im Betrieb von Bauwerken und dem computergestützten Gebäudemanagement (englisch: Computer-Aided Facility Management; kurz: CAFM) Anwendung. Das Modell der Bauphase dient als Grundlage für das Bestandsmodell für die Nutzung in Form eines As-Built-Modells. Das nach Baufertigstellung auf den Ist-Zustand aktualisierte Modell wird um Informationen für das Facility Management angereichert, sodass es als Grundlage für Verwaltungen und das Betreiben von Gebäuden dienen kann. Die Planung von Aufgaben, sowie die Kalkulation und Arbeitsvorbereitung können direkt im Modell dokumentiert werden [11, S. 385].

Ziel der Facility Manager ist es in erster Linie, die Gebäude und Anlagen effektiv und effizient im Einklang mit den Zielen der Eigentümer, unter Beachtung von Recht und Sicherheit, energieeffizient zu bewirtschaften und die Verfügbarkeit der Gebäudetechnik für die Nutzer mit dem Ziel der Steigerung der Anlagenwerte sicherzustellen.

Der Gebäude-/Eigentümer sollte von BIM und seinen verfügbaren Informationen profitieren und die Einführung von BIM für das Asset Management (BIM-AM) vorantreiben, das erhebliche Vorteile in Bezug auf Kosten, Sicherheit, Produktivität und Effizienz mit sich bringt, wenn das Gebäude oder die Anlagen den Betrieb aufnehmen.

Für den Übergang von BIM zu BIM-AM ist es wichtig, dass Informationen, die für einen effektiven Betrieb und eine effektive Wartung entscheidend sind, korrekt und vollständig in das BIM integriert sind. Ein Problem in der Übergabephase ist heute die Inkonsistenz der Übergabeinformationen, die es für den Empfänger sehr schwierig macht, die Informationen zu organisieren und anschließend effektiv für die Vermögensverwaltung zu nutzen [58].

Der Schlüssel zu einem effektiven BIM für das Asset Management (BIM-AM) besteht darin, die Anforderungen an die Anlageninformationen zu verstehen, die für die Betriebs- und Wartungsphase entscheidend sind.

Bei der Anlagenverwaltung geht es um die Verwaltung von Anlagen, um eine bessere Betriebsführung und den Lebenszyklus kritischer Anlagen zu erreichen. Daher ist es unerlässlich, dass Gebäude-/Gebäudeeigentümer sicherstellen, dass die Informationen über das Gebäudevermögen sowohl während der Entwurfs- als auch der Bauphase genau erfasst werden. Um dies zu gewährleisten, ist es wichtig, die Informationsanforderungen zu Beginn des Projekts zu definieren.

Dazu schlägt LIM einen Ansatz zur Definition und Erfassung von Anlageninformationen für ein BIM-fähiges Projekt vor (siehe Abb. 6.7). Diese Abbildung beschreibt auch, wie diese Anlageninformationen mit FM-Systemen verknüpft werden können, ohne jedoch die technischen Anschlüsse und Konfigurationen im Detail zu behandeln, da dies je nach den vor Ort eingesetzten FM-Lösungen unterschiedlich ist.

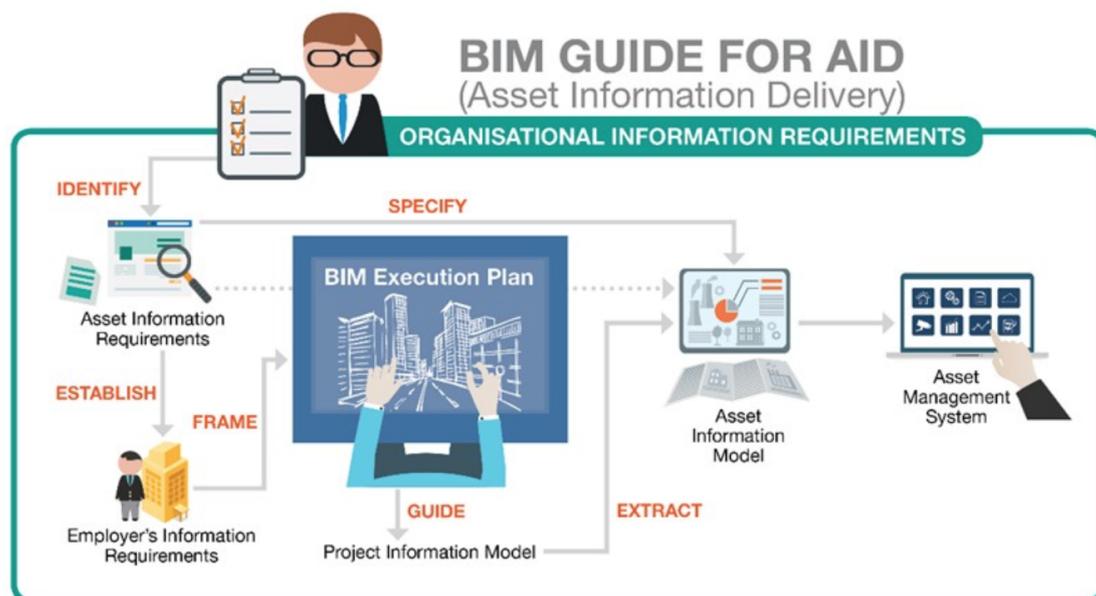


Abb. 6.7: BIM for Asset Information Delivery [40]

## 6.10 Projektende

Die Auswertung zu Daten am Projektende, beim Abbruch von Bauten und Anlagen gibt wertvolle Aufschlüsse über die verwendeten Materialien. Parallel zur stofflichen Wiederverwertung wird künftig die digitale Wiederverwertung eine Rolle spielen.

# Kapitel 7

## Handlungsempfehlungen

Das vorliegende Kapitel gibt einen Überblick über die Methoden und technischen Lösungen für die Umsetzung eines digitalen Bauprojektes und zeigt auf, welche Veränderungen organisatorischer und struktureller Art notwendig sind, um das Konzept des digitalen Bauprojektes erfolgreich in der Bauindustrie zu etablieren.

Die Handlungsempfehlungen beantworten die Forschungsfrage und die Zusatzfragen.

### Forschungsfrage

**Lassen sich aus der Analyse des praktischen Einsatzes bisheriger digitaler Tools und Prozesse konkrete Vorschläge für den künftigen Entwicklungsbedarf ableiten?**

### Antwort und Empfehlung

Bisher gibt es noch keine praktisch durchgängig erprobten Tools, die es erlauben den gesamten Lebenszyklus im Sinne eines durchgängigen digitalen Bauprojektes abzubilden. Es gibt eine Vielzahl von Tools im Einsatz und in Entwicklung, die zunehmend besser und miteinander kompatibel werden.

Dementsprechend sind auch die Gesamtprozesse in Planen, Bauen und Betreiben noch nicht durchgängig geplant und organisiert.

Die geführten Interviews im Rahmen dieser Diplomarbeit lassen den Schluss zu, dass die Möglichkeiten der Unterstützung durch spezielle Software und Tools groß sind aber nur selten genutzt werden. Die heutige IT-Landschaft bietet nahezu für jede Aufgabe des Projektmanagements eine entsprechende Software. Ein Trend der Entwicklung ist die Erweiterung des Funktionsspektrums der Software, sodass mit diesen möglichst viele Aufgabenbereiche über die Bauphasen hinweg abgedeckt werden. Wird jede Aufgabe des PM mit Einzellösungen bearbeitet, so nimmt die Koordination und Kommunikation für den Datentransfer zu. Für die Wahl einer unterstützenden

Software-Lösung ist es daher wichtig, sich bewusst zu werden, ob dadurch eine tatsächliche Effizienzsteigerung erzielt wird oder sich der Arbeitsaufwand nur verlagert.

Viele spezialisierte Software-Lösungen erweitern stetig ihr Funktionsspektrum und entwickeln sich zunehmend Richtung „Universal“. Diese streben einen durchgehenden Informationsfluss über alle Phasen und zwischen allen Software-Lösungen an, um möglichst wenige Informationen zu verlieren und gleichzeitig auf die benötigten Daten schnell zugreifen zu können.

Daten-Schnittstellen, Nahtstellen und Informationsübergänge stellen heute ein wesentliches Hindernis dar, das zu überwinden ist.

Viele rechtliche Themen überlagern technologische Fragen. Haftung für Beiträge zum BIM-Modell, Urheberrecht, Schnittstellenverantwortung, Datenhoheit, Datensicherheit und Datenverfügbarkeit auf lange Zeit sind technische-rechtlich-wirtschaftlich zu klären.

Empfohlen wird dieses Thema in der Wissenschaft (Forschungsprojekte) und in der Praxis (Pilotprojekte, Softwareentwicklung) voranzutreiben.

Um den vollen Nutzen aus der Digitalisierung von Planung, Bauen und Betrieben zu schaffen, ist es notwendig, durchgängige Steuerungstools über den Lebenszyklus zu entwickeln.

Diese Steuerungstools müssen mit den Common Data Environment des Projektes und mit der ERP-Software (Enterprise Resource Planning) der beteiligten Unternehmen kommunizieren können bzw. kompatibel sein.

Die Steuerungstools müssen in Form von kybernetischen Regelkreisen insgesamt und in Teilkreisen entlang von Phasen, Fachgebieten und Bauteil wirksam werden. Die einzelnen Teilkreise müssen als abgestimmtes Steuerungssystem über das Gesamtprojekt wirken.

### **Zusatzfrage 1**

Ist es grundsätzlich möglich, auf Basis des heutigen Standes von Technik und Praxis ein sinnvolles Gesamtsystem vorhandener und erwünschter Software Applikationen für Bau-PM über den Lebenszyklus zu erarbeiten?

### Antwort und Empfehlung

Grundsätzlich erscheint es nicht nur möglich, sondern ist es auch dringend zu empfehlen. Die Entwicklung herstellernerneutraler Schnittstellenformate ist ein wichtiger Punkt für die Umsetzung eines kontinuierlichen, software- sowie phasenübergreifenden Datenflusses. Besonders für die Arbeitsweise mit BIM soll IFC diesen Anforderungen gerecht werden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist ein vollständiger Datentransfer mittels IFC über alle Gewerke und Phasen noch

nicht möglich, jedoch finden aktuell diverse Zertifizierungen von Software-Lösungen für den IFC-Export und Import statt.

Neben diesen Bestrebungen ist die Mobilität durch die Entwicklung von Werkzeugen und damit zusammenhängende Software-Lösungen und Hardware erweitert worden, sodass Projektmanagementaufgaben direkt am Bau während der Ausführungsphase digital erledigt werden können.

Offen ist die Frage, ob es sich um ein Gesamtsystem oder um miteinander kompatible Teilsysteme handeln wird. In Analogie zu den Betriebssystemen könnte geschlossen werden, dass sich die globale Systemen praktisch durchsetzen werden. Werden funktionierende Schnittstellen ausreichend rasch entwickelt, kann sich auch eine dezentrale Entwicklung von Tools durchsetzen.

Unabhängig davon, ob global/zentral oder dezentral ist von Seiten nationaler und internationaler Standardisierung dafür zu sorgen, dass Projekte mit ihren gesamten, oft internationalen Wertschöpfungsketten, digital möglichst reibungsfrei und effizient funktionieren.

### **Zusatzfrage 2**

Nach welchen Kriterien sind Software-Applikationen zu analysieren und zu bewerten, so dass aus Sicht von Unternehmen in der Praxis technisch-wirtschaftliche Entscheidungen zu Erwerb, Entwicklung und Anwendung getroffen werden können?

#### Antwort und Empfehlung

Ein wesentliche Empfehlung ist die Nutzerfreundlichkeit, die letztlich über die Verwendung und den Erfolg der Software entscheidet.

Support und Service bestimmen neben den Preis- und Leistungsverhältnis über den Einsatz von Softwareprodukten. Die Offenheit und Beständigkeit, auch Erweiterbarkeit in der Funktionalität ist eine Forderung an die Softwareindustrie.

### **Zusatzfrage 3**

Was sollen Bauindustrie und Baugewerbe, Planer und Betreiber von der Software-Industrie in einem 3 Jahres-Horizont auf Basis von Punkt 1 und 2 fordern?

#### Antwort und Empfehlung

Derzeit besteht der Eindruck, dass die Softwareindustrie vorangeht, Produkte entwickelt und diese dann über Marketing und Vertrieb dem Markt einpflanzt. Dieser Prozess sollte sich bei geschlossenem Auftreten der Baubranche zumindest teilweise umkehren lassen.

**Zusatzfrage 4**

Mit welchen Daten, Tools und Prozessen ist die immer wieder geforderte Einbindung von Betreibern und Bauern in die Frühphasen Entwickeln und Planen, also das Early Involvement sinnvoll möglich?

Antwort und Empfehlung

Diese Einbindung geschieht einerseits indirekt über die datenbasierten Regelkreise und andererseits direkt über die persönliche Involvierung. Die persönliche Involvierung bedeutet eine gewisse Umstellung, bei den heute üblichen Unternehmeneinsatzformen am Bau. Unter Beachtung der gegebenen Vergabegesetze sind Wege zu suchen, wie die Experten aus Betrieb und Bau in Entwicklung und Planung integriert werden können.

# Kapitel 8

## Zusammenfassung

In der Baubranche arbeiten die an einem Projekt beteiligten Personen oft ihre Aufträge ab, ohne ihre Leistungen miteinander zu verknüpfen. Dabei würde eine Standardisierung bzw. Digitalisierung der Leistungsprozesse Schnittstellenverluste verhindern, die Kommunikation zwischen den Beteiligten verbessern sowie die Kosten senken. Auch Terminüberschreitungen und Informationsverluste durch Übergabeprobleme könnten verhindert werden, sodass die Branche einen erheblichen Nutzen aus einem Digitalisierungsprozess ziehen könnte.

Zwar gibt es bereits IT-basierte Lösungen, die bereits einen Mehrwert für einige einzelne Disziplinen im Bausektor darstellen, aber eine Komplettlösung wäre profitabler für alle Personen, die am Bauprojekt mitwirken.

Der Prozess einer Entwicklung von Tools, die zusammen als eine Lösung agieren, befindet sich noch in seiner Entstehung. Handlungsbedarf besteht vor allem dort, wo es zu Schnittstellen, oder Informationsübergängen kommt, da hier der mögliche Verlust von wertvollen Daten besonders hoch ist. Das Problem liegt hier unter anderem im Zusammenspiel von Technologie und rechtlichen Themen, den es teilweise noch abzuklären gilt.

Eine Gesamtlösung von Steuerungstools für die Wertschöpfungskette der Baubranche ist deshalb dringend zu empfehlen, da die Wertschöpfung eines Unternehmens nicht nur verbessert werden, sondern durch eine Generalisierung ein professionellerer Umgang zwischen den Schnittstellen gepflegt werden kann.

Die Nutzerfreundlichkeit spielt dabei insofern eine große Rolle, als dass die Daten für ein Projekt mit Sorgfalt in das passende Programm so eingepflegt werden muss, dass es auch für andere Schnittstellen verwendbar ist.

Diese und andere Anforderungen machen es zwar nicht leicht, eine gesamte digitale Lösung zu finden, jedoch wird es in Zukunft ohne eine solche immer schwieriger, mit der Konkurrenz Schritt zu halten und für eine reibungslose Projektabwicklung zu sorgen. Weitere zukunftsorientierte

Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet sind deshalb besonders förderlich und für den Bausektor als essentiell einzustufen.

# Literaturverzeichnis

## Literatur

- [2] C. Aichele. *Intelligentes Projektmanagement*. 2006.
- [4] E. Albrecht und K. Hurrelmann. *Die heimlichen Revolutionäre*. 2016.
- [6] P. Atteslander, J. Cromm, B. Grabow, H. Klein und A. Maurer. *Methoden der empirischen Sozialforschung*. 2010.
- [7] R. Ballou. *Business Logistics/Supply Chain Management: Planning, Organizing and Controlling the Supply chain*. 2004.
- [11] A. Borrmann, M. König, C. Koch und J. Beetz. *Building Information Modeling*. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [12] Borrmann, Lang und Petzold. „Digitales Planen und Bauen - Schwerpunkt BIM“. In: (2018).
- [13] J. Bortz und N. Doring. *Forschungsmethoden und Evaluation*. 2013.
- [14] B. Dave, A. Buda, A. Nurminen und K. Främling. „A framework for integrating BIM and IoT through open standards“. In: *Automation in Construction* (2018).
- [15] G. Drews und N. Hillebrand. *Lexikon der Projektmanagement-Methoden*. 2010.
- [18] P. Frank. „Computergestützte Bauaufnahme als Grundlage für die Planung im Bestand - Untersuchungen zur digitalen Erfassung und Modellbildung“. Dissertation. Bauhaus-Universität Weima, 2001.
- [21] J. Gläser und G. Laudel. *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*. VS Verlag für Sozialw., 2010.
- [22] G. Goger. *Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen*. Studie. Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2017.
- [23] G. Goger und W. Reismann. „Prozesslandkarte für ein digitales Bauprojekt“. In: *Die Fachzeitschrift für Baurecht, Baubetriebswirtschaft und Baumanagement* (2018).
- [24] P. Greiner, P. E. Mayer und K. Stark. *Baubetriebslehre - Projektmanagement*. Vieweg+Teubner Verlag, 2009.

- [25] M. Grömling. „Die deutsche Bauwirtschaft im sektoralen Strukturwandel“. In: *Beiträge zur Wirtschafts- und Sozialpolitik* (2001).
- [28] W. A. Günthner und A. Borrmann. *Digitale Baustelle- innovativer Planen, effizienter Ausführen*. Springer-Verlag GmbH, 2011.
- [30] C. Helfferich. *Die Qualität qualitativer Daten*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2011.
- [31] S. Hochstadt, E.-L. Laux und S. Sandbrink. „Die Bauwirtschaft auf der Suche nach neuen Konzepten“. In: *WSI Mitteilungen 52 (2)* (1999).
- [32] ". IG LEBENSZYKLUS. „Leistungsbilder im PROJEKTMANAGEMENT - Fachleitfaden“. In: (2014).
- [33] A. S. Institute. *ÖNORM A 6241-2 : Digitale Bauwerksdokumentation Teil 2: Building Information Modeling (BIM) – Level 3 iBIM*. 1. Juli 2015.
- [34] K. Jens. „Anwendungsmöglichkeiten von 3D Vermessungstechniken im Holzbau Möglichkeiten und Grenzen“. Magisterarb. Beuth Hochschule für Technik Berlin, 2017.
- [40] H. Lim. „BIM Guide for Asset Information Delivery“. In: *Building and Construction Authority* (2018).
- [41] P. Mayring. *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. Beltz, 2002.
- [44] A. Mulahasanovic. „Praktische Anwendung von Bauprojektmanagementmethoden“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2017.
- [45] J. Nävy. *Facility Management: Grundlagen, Computerunterstützung, Systemeinführung, Anwendungsbeispiele (German Edition)*. Springer, 2003.
- [46] L. Nebe. *Kennzahlengestütztes Projektcontrolling in Baubetrieben*. GRIN Verlag, 2016.
- [48] G. Patzak und G. Rattay. *Projektmanagement*. Linde Verlag, 2017.
- [52] W. Reismann, G. Goger und H. Christalon. „AVVA radikal-digital“. In: *Plattform 4.0* (2019).
- [53] V. Russig. *Branchenbild Bauwirtschaft: Entwicklung und Lage des Baugewerbes sowie Einflussgrößen und Perspektiven der Bautätigkeit in Deutschland ... für Wirtschaftsforschung (German Edition)*. Duncker & Humblot, 1996.
- [54] H. Schindler. „Die Ingenieurs Analyse für den Projektstart“. In: *Interne Schriftenreihe der ic consulenten* (2017).
- [59] E. Wischnewski. *Modernes Projektmanagement*. 2013.
- [60] B. Witte und P. Sparla. *Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen*. Vde Verlag GmbH, 2015.
- [62] J. Zimmerman. *Bauprozessmanagement*. In: *Immobilienmanagement für Sozialwirtschaft und Kirche*. Nomos Verlagsges.MBH + Co, 2016.

## Internetquellen

- [1] R. Agarwal, S. Chandrasekaran und M. Sridhar. *Imagining construction's digital future*. 2016. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future> (Zugriff am 16.12.2018).
- [3] M. B. et al. *VBI BIM-Leitfaden*. Hrsg. von V. B. I. VBI. 2016. URL: [https://www.vbi.de/fileadmin/redaktion/Dokumente/Infopool/Downloads/VBI\\_BIM-Leitfaden\\_0916-final.pdf](https://www.vbi.de/fileadmin/redaktion/Dokumente/Infopool/Downloads/VBI_BIM-Leitfaden_0916-final.pdf) (Zugriff am 21.11.2018).
- [5] H. für Architekten und Ingenieure. *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure*. 2017. URL: <http://ingteam.de/wp-content/uploads/2017/07/Leistungsphasen-HOAI.pdf> (Zugriff am 09.02.2019).
- [8] BaslerWeb. *Grafik Tringulation*. Hrsg. von Online-Image. 2018. URL: [https://media.springernature.com/lw785/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-662-46900-2\\_35-1/Media0bjects/337419\\_0\\_De\\_35-1\\_Fig2\\_HTML.gif](https://media.springernature.com/lw785/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-662-46900-2_35-1/Media0bjects/337419_0_De_35-1_Fig2_HTML.gif) (Zugriff am 17.02.2019).
- [9] Baunetzwissen. *Glossar - BauNetzWissenBIM*. 2018. URL: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/a/as-built-modell-5314378> (Zugriff am 09.02.2019).
- [10] B. Beatty. *A Digital Future for the Infrastructure Industry*. 2017. URL: <https://www.balfourbeatty.com/media/244600/balfour-beatty-innovation-2050.pdf> (Zugriff am 16.12.2018).
- [17] facility-management. *Grafik Informationsverlauf BIM vs. Traditionell*. Hrsg. von Online-Image. 2018. URL: [http://www.facility-management.de/imgs/100558207\\_e7dcb6057e.jpg](http://www.facility-management.de/imgs/100558207_e7dcb6057e.jpg) (Zugriff am 17.02.2019).
- [20] geospatialworld. *Grafik Phasenvergleichsverfahren*. Hrsg. von Online-Image. 2018. URL: <https://www.geospatialworld.net/article/how-re-modelling-construction-digitizing-industry/> (Zugriff am 17.02.2019).
- [26] M. D. Groote und M. Lefever. *Driving transformationla change in the construction value chain*. 2016. URL: <http://bpie.eu/wp-content/uploads/2016/01/DrivingTransformationalChangeCV.pdf> (Zugriff am 05.02.2019).
- [27] R. Gründerszene. *Internet of Things*. Hrsg. von gruenderszene. 2019. URL: <https://www.gruenderszene.de/lexikon/begriffe/internet-of-things?interstitial> (Zugriff am 17.02.2019).
- [29] E. Heine. *Theorie und Praxis des terrestrischen Laserscannings*. 2008. URL: [http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo\\_Tutorial\\_Final\\_vers5\\_GERMAN.pdf](http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_GERMAN.pdf).

- [35] M. Karjalainen. *A sample view of the TLS point cloud from one of the check areas illustrating the point*. 2018. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Mika\\_Karjalainen/publication/256091890/figure/fig2/AS:297957166469122@1448049932793/A-sample-view-of-the-TLS-point-cloud-from-one-of-the-check-areas-illustrating-the-point.png](https://www.researchgate.net/profile/Mika_Karjalainen/publication/256091890/figure/fig2/AS:297957166469122@1448049932793/A-sample-view-of-the-TLS-point-cloud-from-one-of-the-check-areas-illustrating-the-point.png) (Zugriff am 17.10.2018).
- [36] karrierebibel. *Supply-Chain-Management-Definition-Beispiele-Tipps-Jobs*. Hrsg. von karrierebibel. 2018. URL: <https://karrierebibel.de/wp-content/uploads/2017/03/Supply-Chain-Management-Definition-Beispiele-Tipps-Jobs.png> (Zugriff am 03.02.2019).
- [37] D. Kreicic. *Baustelle 4.0: Erst digital, dann real*. 2018. URL: <https://www.bauforum.at/bauzeitung/baustelle-40-erst-digital-dann-real-159521> (Zugriff am 17.02.2019).
- [39] Laserscanner. *FARO Laser Scanner Focus S 150*. 2018. URL: <https://www.industry-plaza.de/faro-laser-scanner-focus-s-150-p104432220.html> (Zugriff am 17.02.2019).
- [42] R. McPartland. *BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained*. 2017. URL: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained> (Zugriff am 02.02.2019).
- [43] A. Mitchell. *WHY DIGITIZATION WILL DISRUPT THE CONSTRUCTION INDUSTRY*. 2018. URL: <https://www.aem.org/news/january-2018/why-digitization-will-disrupt-the-construction-industry/> (Zugriff am 03.02.2019).
- [47] F. Oez. *Die Produktionskette: Bauwirtschaft in NRW*. 2003. URL: [http://www.ub.uni-koeln.de/ssg-bwl/archiv1/2008/44730\\_produktionskette\\_bauwirtschaft\\_nrw.pdf](http://www.ub.uni-koeln.de/ssg-bwl/archiv1/2008/44730_produktionskette_bauwirtschaft_nrw.pdf) (Zugriff am 19.12.2018).
- [49] Redaktion. *Die Dimensionen des BIM: 3D, 4D, 5D, 6D, 7D*. 2018. URL: <http://biblus.accasoftware.com/de/die-dimensionen-des-bim-3d-4d-5d-6d-7d/> (Zugriff am 02.02.2019).
- [50] NP-Redaktion. *Vergleich von open BIM, closed BIM, little BIM, big BIM und connected BIM*. 2018. URL: <https://blog.nupis.de/vergleich-open-closed-little-big-bim-connected-bim/> (Zugriff am 04.01.2019).
- [55] R. Soniquedigital. *Why IoT Is Vital For The Future Of Construction Onsite Safety*. Hrsg. von soniquedigital. 2017. URL: <http://www.soniquedigital.com/why-iot-is-vital-for-the-future-of-construction-onsite-safety.html> (Zugriff am 17.02.2019).
- [56] Springer. *Grafik Fünf Trends der digitalen Baustelle*. Hrsg. von Online-Image. 2018. URL: [https://www.baslerweb.com/fp-1492671125/media/en/editorial/vision\\_campus/vc\\_content\\_half/3d-technologies\\_Triangulation\\_DE\\_1380x1323px.jpg](https://www.baslerweb.com/fp-1492671125/media/en/editorial/vision_campus/vc_content_half/3d-technologies_Triangulation_DE_1380x1323px.jpg) (Zugriff am 17.02.2019).
- [57] Theodolit. *Nestle elektron. Theodolit DT- 405 mit optischem Lot*. 2018. URL: <https://www.1a-vermessung.de/media/24449-15103000-nestle-elektronischer-theodolit-30-fache-vergroesserung-ansicht-1-jpg-800-600-1-ffffff-2.jpg> (Zugriff am 17.02.2019).

- 
- [61] WKO. *BIM - Building Information Modeling*. 2. Feb. 2019. URL: <https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/BIM-Broschuere.pdf> (Zugriff am 02.02.2019).

## Interviews

- [16] C. Eichler. „Interview - BIM Implementierung“. 7. Okt. 2018.
- [19] M. Ganspöck. „Interview - Bestandsaufnahme via Laserscanner“. 24. Nov. 2018.
- [38] T. Krischmann. „Interview - Qualitätsicherung BIM“. 11. Sep. 2018.
- [51] W. Reismann. „Interview - Das Digitale Bauprojekt“. 9. Feb. 2019.
- [58] M. Waschl. „Interview - Facility Management“. 26. Sep. 2018.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Informationsverlust durch Einsatz von Insellösungen [12] . . . . .	10
1.2	Forschungsdesign zur Informationsgewinnung . . . . .	12
1.3	Ablaufmodell des problemzentrierten Interviews. Eigene Darstellung nach [41, S. 71]	13
1.4	Projektphasen mit Einordnung AIA und BAP [3] . . . . .	17
1.5	Schema BIM-Abwicklungsplan (BAP) [3, S. 9] . . . . .	18
1.6	BIM Kreislauf [12, S. 16] . . . . .	19
1.7	Die Parameter Durchgängigkeit und Offenheit lassen sich gemeinsam zu 4 BIM-Implementierungsmöglichkeiten kombinieren [50] . . . . .	20
1.8	Dimensionen von BIM [49] . . . . .	21
2.1	Bauwirtschaftliche Wertschöpfungskette nach ÖZ [47, S. 16] . . . . .	23
2.2	Lieferkette [36] . . . . .	24
2.3	Lieferkette der Bauindustrie [26] . . . . .	25
3.1	Phasen des Projektmanagements [5] . . . . .	30
3.2	Rollen im Projektmanagement [32] . . . . .	31
3.3	Schematische Beschreibung der wesentlichen Prozesse und Zuordnung [44] . . . . .	33
3.4	Inputs und Outputs in den wesentlichen Projektphasen [44] . . . . .	35
4.1	Prozessschritten eines Bauprojekts [23] . . . . .	38
4.2	Digitales Bauprojekt in den Phasen Planen, Bauen, Betreiben[22] . . . . .	39
4.3	Ergebnis einer Scan-Vorgangs [35] . . . . .	41
4.4	Zukunft der digitalen Baustelle [55] . . . . .	53
4.5	AVVA als das zentrale technisch-wirtschaftliche Element aller Projekte des Bauwesens [52] . . . . .	55
5.1	Theodolit DT- 405 mit optischem Lot von Nestle [57] . . . . .	59
5.2	Laser Scanner Focus S 150 von Faro [39] . . . . .	60
5.3	Verlauf des terrestrischen Laserscannings [29, S. 37] . . . . .	62
5.4	Das Prinzip der Distanzmessung auf Basis von Lichtlaufzeit <sup>1</sup> . . . . .	63
5.5	Das Prinzip des Phasenvergleichs [56] . . . . .	64
5.6	Das Prinzip der Tringulation [8] . . . . .	64
5.7	Anteil Datenmengen aus Laserscansvorgang <sup>2</sup> . . . . .	68

---

6.1	Konventionelles und durchgängiges Informationsmanagement <sup>3</sup> . . . . .	71
6.2	Informationsverlauf BIM vs. Traditionell [17] . . . . .	71
6.3	Das Dreibein zum Erfolg gelungener Bauprojekte [52] . . . . .	78
6.4	Fünf Trends der digitalen Baustelle [20] . . . . .	80
6.5	BIM 5D <sup>4</sup> . . . . .	82
6.6	digitale Lösungen für ein nahtloses Echtzeit-Erlebnis in acht Anwendungsfällen <sup>5</sup> . . . . .	83
6.7	BIM for Asset Information Delivery [40] . . . . .	87

# Tabellenverzeichnis

4.1	Ausgewählte Hersteller von Laserscannern mit Herstellerland . . . . .	42
5.1	Gegenüberstellung Vor- und Nachteile eines terrestrischen Laserscannings . . . .	65
5.2	Hersteller von Laserscannern mit Herstellerland . . . . .	66